



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

MODERNIZACE ŘÍZENÍ FRÉZKY FNG

THE MODERNIZATION OF CONTROL SYSTEM OF MILLING MACHINE FNG

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jiří Holas

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. František Bradáč, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Bc. Jiří Holas**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce: **Ing. František Bradáč, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Modernizace řízení frézky FNG

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V laboratořích Ústavu výrobních strojů, systémů a robotiky se nachází frézka FNG. Frézka je vybavená zastaralým řídicím systémem. Úkolem je navržení rekonstrukce elektrorozvodů stroje a povýšení stroje o nový řídicí systém.

Cíle diplomové práce:

Současný stav řešené problematiky.
Systémový rozbor problematiky, návrh a zdůvodnění zvoleného způsobu řešení zadaného úkolu.
Návrh variant nového řešení.
Technicko–ekonomické posouzení variant řešení.
Výběr varianty řešení.
Návrh elektrických schémat zadaného zařízení a řídicího systému.
Návrh řízení stroje pro vybraný řídicí systém.
Vlastní závěry (návrh nového řešení) a/nebo doporučení.

Seznam doporučené literatury:

Automatizace a automatizační technika: systémové pojetí automatizace. Brno: Computer Press, 2014. ISBN 978-80-251-3628-7.

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha: MM publishing, 2014. MM speciál. ISBN 978-802-6067-801.

BECKHOFF New Automation Technology [online]. Verl, Germany: Beckhoff Automation GmbH & Co., 2019 [cit. 2019-09-20]. Dostupné z: <http://www.beckhoff.com/>

Beckhoff Information System [online]. Germany: Beckhoff Automation GmbH & Co., 2019 [cit. 2019-09-14]. Dostupné z: https://infosys.beckhoff.com/index_en.htm

SIEMENS, Mikrosystémy,

<http://www1.siemens.cz/ad/current/index.php?ctxnh=e19daf5474&ctxp=home>, přístup 30.9.2016

Univerzální a produkční frézky. Univerzální a produkční frézky [online]. Olomouc: TOS-OLOMOUC, 2017 [cit. 2020-10-28]. Dostupné z: <https://www.tos-olomouc.cz/cz/vyrobní-program/univerzální-produkční-frezky/nastrojarska-konzolova-frezka-fnk-2/>

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem modernizace řízení a elektroinstalace frézky FNG 32. Práce je rozdělena do několika částí, v níž je nejprve provedena rešerše frézovacích strojů, spolu s popisem momentálního stavu. Dále jsou uvedeny možné varianty řešení modernizace (retrofitingu) spolu s komponentami. Následuje technicko-ekonomické zhodnocení a výběr varianty řešení. Následně byly vybrané komponenty popsány a vytvořena elektrická dokumentace stroje v programu EPLAN. Na závěr práce byl pomocí vývojového prostředí TwinCAT od společnosti Beckhoff vytvořen návrh řízení frézky.

ABSTRACT

This thesis deals with a proposal modernisation of control and electroinstalation of the milling machine FNG 32. The thesis is divided into several sections: The first section is dedicated to the research of the milling machine and the description of its current condition. The second section deals with possible options of retrofitting and with the components. The third section includes the technical and economical evaluation and the selection of the solution. In the next section, the selected components are described and an electronic documentation of the machine has been created in EPLAN. In the last section, a proposal of control of the milling machine has been created with the help of the TwinCAT development environment provided by Beckhoff company.

KLÍČOVÁ SLOVA

Modernizace frézky, frézka FNG 32, Siemens, Beckhoff, EPLAN, TwinCAT

KEYWORDS

Modernisation milling machine, milling machine FNG 32, Siemens, Beckhoff, EPLAN, TwinCAT

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HOLAS, Jiří Modernizace řízení frézky FNG. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132922>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce František Bradáč.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Františku Bradáčovi Ph.D. za cenné rady a připomínky při vypracování této diplomové práce.

.

ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing Františka Bradáče Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 21.5. 2021

.....

Holas Jiří

OBSAH

1	ÚVOD	11
2	MOTIVACE.....	13
3	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ.....	15
3.1	Technologie frézování	15
3.2	Rozdělení frézek:	16
3.2.1	Konzolové frézky	17
3.2.2	Stolové frézky	18
3.2.3	Rovinné frézky	18
3.2.4	Speciální frézky	19
3.2.5	Programové frézky	19
3.3	Moderní nástrojařská frézka FNG 32 TOS Olomouc	20
3.4	Momentální stav frézky FNG 32	21
3.4.1	Pohledy frézky	21
3.4.2	Vřeteník	21
3.4.3	Posuvy a ovládání stroje	22
3.4.4	Mazání stroje	23
3.4.5	Upínání nástrojů:	25
3.4.6	Přívod procesní kapaliny	26
3.4.7	Konsola	26
3.4.8	Hrubé odměřování	26
3.5	Elektroinstalace	27
3.5.1	Rozmístění elektrické výzbroje	27
3.5.2	Ovládací panel	27
3.5.3	Koncové havarijní nárazky v ose X, Y, Z	28
3.5.4	Odměřovací systém	28
3.5.5	Dokumentace malého rozvaděče	28
3.5.6	Technické parametry stroje	31
4	STANOVENÍ CÍLŮ	32
5	VARIANTY ŘEŠENÍ:	33
5.1	Varianta 1	33
5.2	Varianta 2	33
5.3	Varianta 3	34
5.4	Návrh pohonu pro vřeteno	35
5.4.1	Výpočet řezných podmínek při frézování	35
5.4.2	Výpočet řezných podmínek při vrtání	36
5.4.3	Zhodnocení a volba pohonu	37
6	TECHNIKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VARIANTY	39
6.1	Výběr značky Siemens	39
6.2	Výběr od značky Beckhoff	40
6.3	Technické zhodnocení	40
6.4	Ekonomické zhodnocení	41
6.5	Výběr pro realizaci	41
7	POPIS KOMPONENT	42
7.1	Panel PC	42

7.2	EtherCAT Coupler.....	43
7.3	Digitální vstupy	43
7.4	Digitální výstupy	44
7.5	Analogový vstup.....	45
7.6	Inkrementální enkodér.....	45
7.7	Servopohon.....	46
7.8	Digitální kompaktní servoměnič	49
7.9	Napájecí zdroj 24V	50
7.10	Asynchronní motor pro pohon vřetene.....	51
7.11	Frekvenční měnič pro vřeteno	52
7.12	Lineární odměřování	53
7.12.1	Magnetický princip	54
7.12.2	Lineární magnetické pravítka	56
7.12.3	Optoelektronické snímače	57
7.13	Koncové spínače.....	59
7.14	Bezpečnostní relé.....	60
8	TVORBA PROGRAMU.....	61
8.1	Úvod a seznámení s prostředím.....	61
8.1.1	Rozlišujeme 3 druhy POU:	61
8.1.2	Globální seznam proměnných	61
8.1.3	Programovací jazyky	62
8.1.4	Použité knihovny:.....	62
8.2	Tvorba vlastního programu	64
8.2.1	Main	64
8.2.2	Aktivace vřetena a pohybu os	64
8.2.3	Zastavení vřetena a pohybu os	64
8.2.4	Digitální výstupy pro pohony.....	65
8.2.5	Manuální pohyb stroje.....	65
8.2.6	Absolutní a relativní pohyb	65
8.2.7	Nastavení pozice	65
8.3	Oživení stroje a odladění programu	67
8.3.1	I/O.....	67
9	ZÁVĚR.....	68
10	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	69
11	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	73
11.1	Seznam tabulek.....	73
11.2	Seznam obrázků.....	73
12	SEZNAM PŘÍLOH.....	79

1 ÚVOD

Obsahem této diplomové práce je návrh na rekonstrukci elektroinstalace a řízení nástrojařské frézky FNG 32, která se nachází ve školních dílnách.

Tato frézka má zastaralý řídicí systém a některé její elektrické prvky nefungují. Jelikož se v případě tohoto typu frézky jedná o prototyp, který vyrobila firma TOS Žebrák v letech 1965- 1975, tak k tomuto stroji není k dispozici žádná dokumentace.

Práce je rozdělena do třech hlavních částí. První část se zabývá rešerší frézek a popisem momentálního stavu stroje. V druhé části jsou uvedeny 3 varianty rekonstrukce stroje a následné technické ekonomické zhodnocení. V třetí části je popsáno vybrané řešení, popis jednotlivých komponent, elektrické schéma a PLC program s vizualizací.

Cílem práce je zdokumentovat momentální stav stroje. Následně navrhnout jednotlivé pohony pro osy a vřeteno. V elektrické části je jednoduše uvedeno momentální zapojení stroje. Následně je navrženo schéma s novými komponentami a řízením (PLC). Také je zapotřebí osadit stroj dotykovým displejem s jednoduchou a intuitivní vizualizací pro obsluhu.

2 MOTIVACE

Motivace výběru této práce byla v tom, že je možnost zrekonstruovat (retrofiting) starý stroj, kterému se vrátí jeho původní funkce. Jelikož tento stroj nebyl plně nasazen v sériové výrobě, je z hlediska mechanické části v dobrém stavu.

Osazením stroje o nový řídicí systém, bude frézka použitelná pro více operací, než je tomu dosud. Dojde ke zvýšení komfortu pro obsluhu pomocí digitálního odměřování.

3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

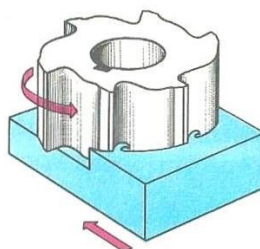
3.1 Technologie frézování

Frézování je výrobní proces, jehož podstatou je odebrání materiálu obvykle dvou a vícebřitým nástrojem. Nástroje jsou rotační tělesa. Jedná se o jednu z nejrozšířenějších výrobních metod obrábění, zejména pro zhotovení rovinných a tvarových ploch, ozubení atd. Tloušťka třísky je proměnlivá kvůli přerušovanému řezu. [1]

Frézování se z technologického hlediska rozděluje podle polohy osy nástroje k obráběné ploše na dva základní způsoby:

Frézování čelní

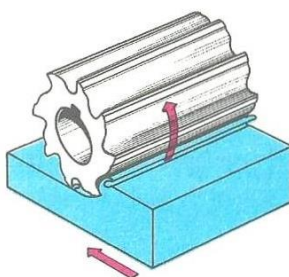
Metoda pro nástroje se zuby na čele i na obvodu. Osa otáčení nástroje je kolmá k obroubené ploše.



Obr. 1) Frézování čelem frézy [2]

Frézování válcové

Metoda pro nástroje, jenž mají zuby rozmístěny po obvodu. Osa otáčení nástroje je rovnoběžná s obrobenou plochou



Obr. 2) Frézování obvodem válcové frézy [2]

3.2 Rozdělení frézek:

U frézovacích strojů koná hlavní pohyb nástroj – fréza. Vedlejší pohyb koná buď nástroj nebo obrobek. Charakteristický rozměr frézek je dán velikostí upínací plochy stolu. U frézek se uplatňuje různý stupeň automatizace. Dělíme je tedy na:

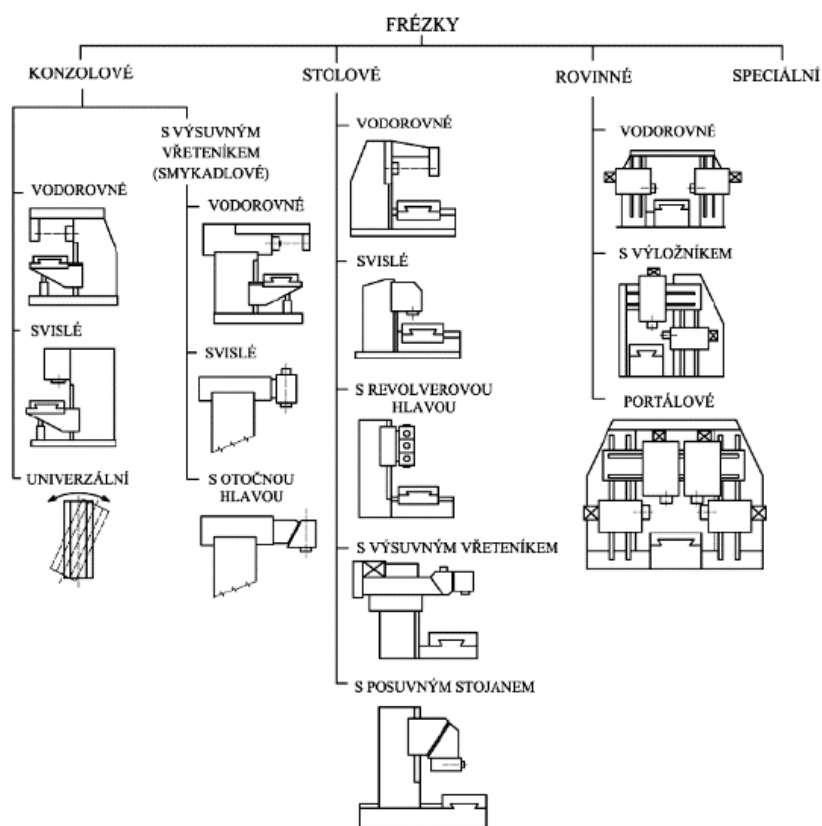
- pákové frézky bez posuvových mechanismů
- běžné konvenční stroje se strojními posuvy v osách x, y, z
- programovatelné
- číslicově řízené
- s automatickou výměnou nástrojů

- podle polohy vřetena:

- vodorovné – horizontální
- svislé – vertikální

- podle účelu a konstrukce

- konzolové
- stolové
- rovinné
- speciální [3]



Obr. 3) Schéma rozdělení frézek [3]

3.2.1 Konzolové frézky

Konzolové frézky mají stojan, konzolu, příčné saně, pracovní stůl, vřeteník, výsuvné a podpěrné rameno.

Stojan je nosnou částí všech ostatních dílů a mechanismů frézek. Je vyroben z litiny, má skříňový tvar uvnitř s vyztuženými žebry. Ve spodní části přechází v základovou desku, ve které jsou uloženy nádrže s chladicí kapalinou.

Konzola je litinový odlitek skříňového tvaru. Je posuvně uložena na svislém vedení přední části stojanu, na němž se pohybuje vertikálním směrem. Jsou v ní uloženy převody pro ruční a strojní posuvy.

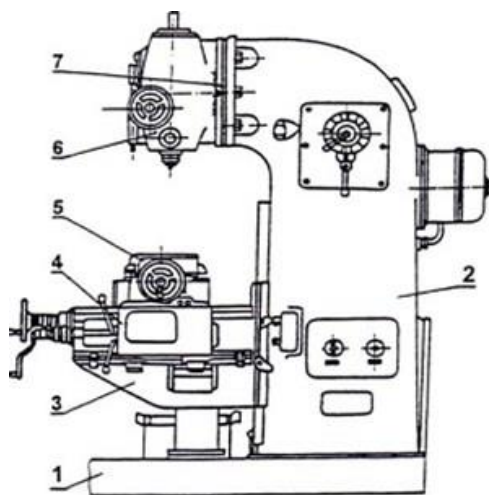
Příčné saně nesou podélný stůl a umožňují příčné nastavení podélného stolu. Na horní ploše příčných saní je vedení podélného stolu. U univerzálních frézek je na příčných saních uložena točnice.

Podélný stůl se pohybuje podélně nebo příčně ve vodorovné rovině. Pracovní plocha stolu má několik podélných T drážek, do kterých se vkládají hlavy upínacích šroubů.

Vřeteník se nachází v horní části stojanu a je v něm uloženo otočné vřeteno. Vřeteno je duté a uložené v radiálně-axiálních ložiskách. V krajní části je kuželová dutina, u frézek novější výroby je i vnější konec vřetena kuželový. Kuželová dutina i vnější kuželový konec vřetena slouží k upínání nástrojů.

Výsuvné rameno mají vodorovné a univerzální frézky. Je uloženo v rybinovém vedení horní části stojanu a je přestavitelné v příčném směru. Vysunutí je závislé na délce frézovacího trnu.

Podpěrné rameno je uloženo ve vedení výsuvného ramena. V jeho ložisku je uložen letmý konec frézovacího trnu. [4]



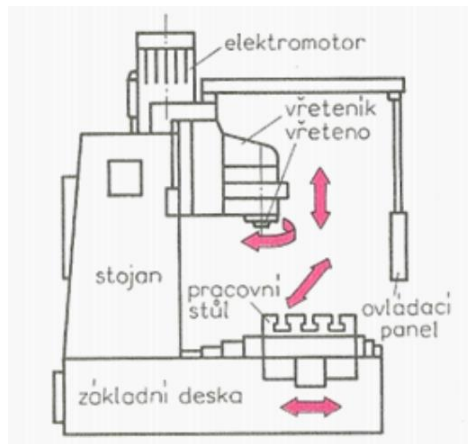
1- základna, 2- stojan, 3- konsola, 4- příčné saně
5- podélný pracovní stůl, 6- naklápěcí vřeteník,
7-kruhová základna vřeteníku

Obr. 4) Svislá konzolová frézka [4]

Do této skupiny patří také Nástrojařské frézky. Ty umožňují frézovat plochy skloněné pod různými úhly – výroba složitých obrobků (řezné nástroje, formy). Stůl těchto fréz se kromě běžných pohybů může otáčet kolem svislé a vodorovné osy. Dodává se k nim bohaté příslušenství pro upínání nástrojů a různá přídatná zařízení.

3.2.2 Stolové frézky

Stolové frézky jsou využívány pro frézování hmotnějších obrobků. Obrobek se pohybuje v podélném a příčném směru, svislý pohyb vykonává nástroj spolu s vřeteníkem. Dodávají se ve vertikálním nebo horizontálním provedení. Velmi tuhá konstrukce frézek umožňuje výkonné obrábění s vysokou jakostí obrobce a geometrickou přesností obrobku. Dokonalou přesnost zajišťuje uložení podélného stolu a příčných saní na tuhém loži. [5]



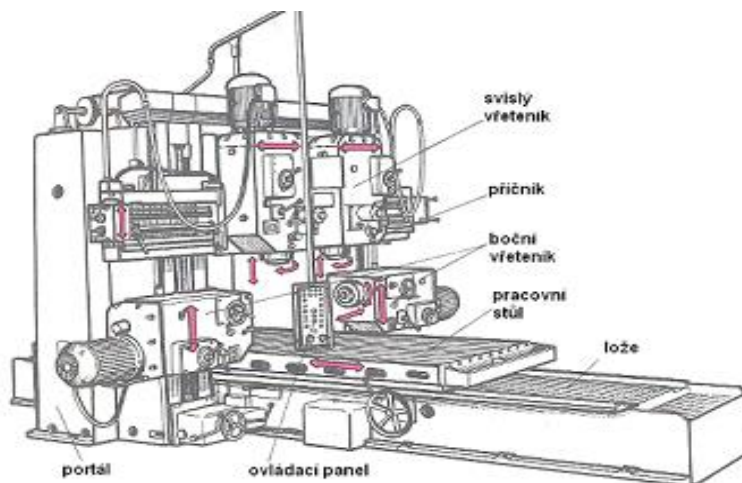
Obr. 5) Stolová frézka [5]

3.2.3 Rovinné frézky

Tyto frézky jsou sestavené z typizovaných stavebnicových dílů, např. loží, stojanů, frézovacích vřeteníků, příčníků apod.

Na rovinných frézách se obrábějí velké obrobky s hmotností až 10 000 kg; vykonávají se na nich nejtěžší frézovací práce. Je také možné upnout na stůl frézky větší počet menších obrobků, které jsou obráběny společně. Rovinné frézky se vyznačují vysokou produktivitou, která se dosahuje současným obráběním několika ploch v různých polohách.

Konstrukce rovinných frézek je odvozena od frézek portálových.[6]

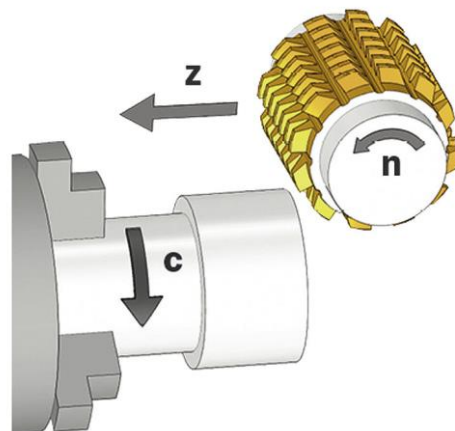


Obr. 6) Rovinná frézka- popis hlavních částí [6]

3.2.4 Speciální frézky

Konstrukce tohoto typu frézek je přizpůsobena druhu práce, která má být na nich vykonávána. Vyrábějí se :

- kopírovací
- drážkovací
- pantografické
- odvalovací
 - na čelní ozubení
 - na kuželové ozubení
 - šneková ozubení
 - na drážkové hřídele
- na krátké závit
- na dlouhé závit [1,10]



Obr. 7) Speciální frézka- odvalovací fréza- ozubení [7]

3.2.5 Programové frézky

- pracovní cyklus nástroje probíhá podle předem naprogramovaného programu
- uplatňují se při obrábění velmi složitých obrobků
- pohyb nástroje lze řídit až v 5-ti osách
- Používají se při kusových malosériových a středně sériových výroбах
- Uplatňují se při výrobě součástí v opakovaných dávkách [1,8]



Obr. 8) Programové řízená frézka FNG 40 CNC [8]

3.3 Moderní nástrojařská frézka FNG 32 TOS Olomouc

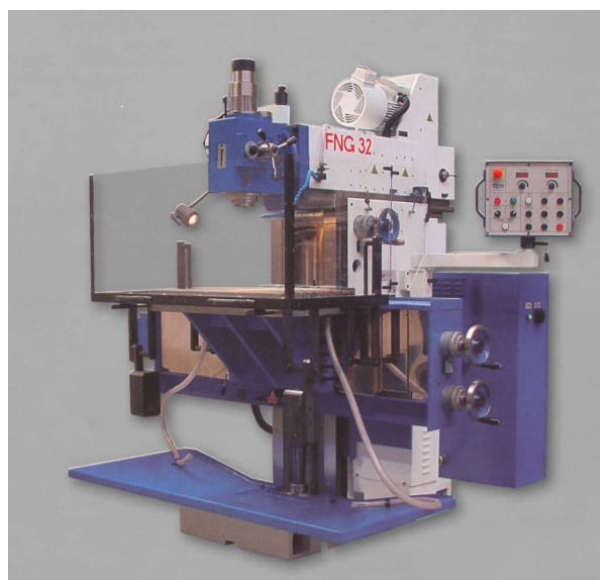
Stroj FNG 32 je konvenční nástrojařská frézka, určená pro frézovací, vyvrtávací, závitovací operace na obrobcích do hmotnosti 350 kg v malosériové výrobě, zejména v nářad'ovnách.

Stroj je dodáván s horizontálním vřetenem, uloženým ve smykadlovém vřeteníku. Dále je stroj vybaven vertikální hlavou s odklápěčem a pevným úhlovým stolem. Vertikální hlava je opatřena pinolou s ručním výsuvem, vřeteno lze naklápět v rozsahu $\pm 90^\circ$. Dokonalé upnutí nástroje je zajištěno pneumaticko hydraulickým upínáním nástroje v horizontálním i vertikálním vřetenu. Rozsah otáček vřetena je rozdělen do dvou stupňů s plynulou regulací s maximem 4 000 ot/min. V kombinaci s plynulou regulací pracovních posuvů umožňuje hospodárné obrábění nejrůznějších druhů materiálů. Optimální mazání funkčních ploch je zajištěno pomocí mazacího agregátu s dávkovači. Stroj je rovněž vybaven chlazením nástroje, svítidlem a bezpečnostním krytem pracovního prostoru.

Technologické možnosti stroje rozšiřuje použití zvláštního příslušenství.

Přednosti:

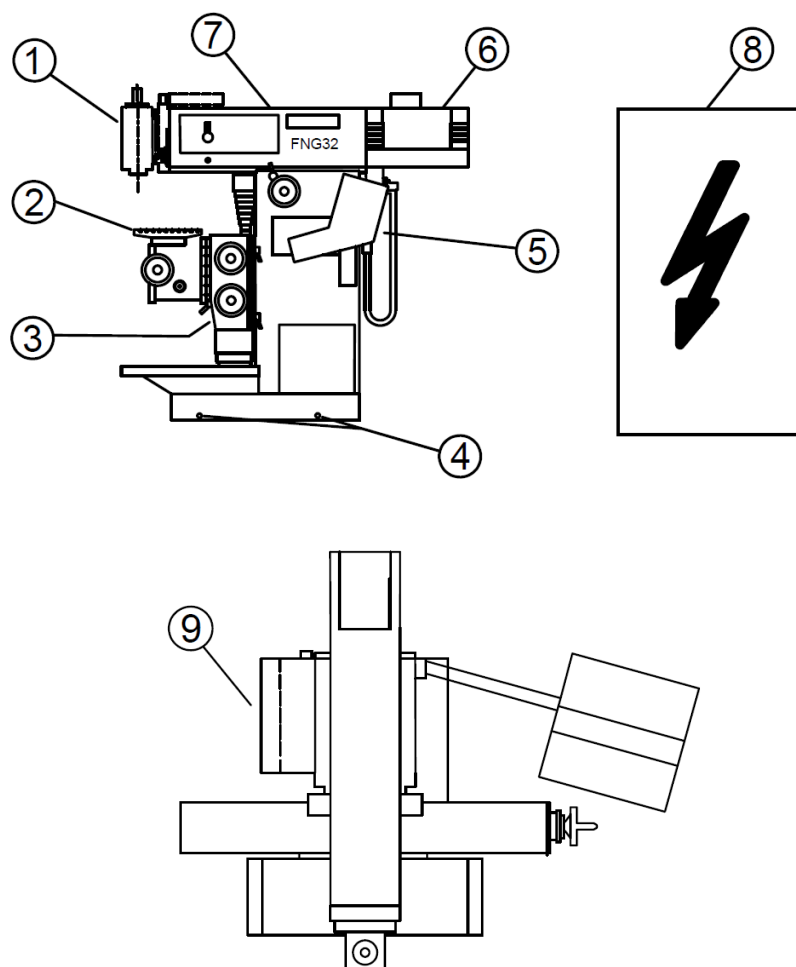
- Plynule stavitelné otáčky pomocí frekvenčního měniče ve dvou stupních
- Vřeteno ve výsuvné pinole s hrubým a jemným výsuvem
- Plynule stavitelné posuvy ve všech 3 osách pomocí frekvenčního měniče
- Pneumaticko-hydraulické upínání nástroje v horizontálním i vertikálním vřetenu
- Kalené vodící plochy
- Jednoduchá komfortní obsluha, kompaktní uspořádání
- Centrální mazání s dávkovači
- Široké technologické možnosti
- Vysoká tuhost, přesnost a spolehlivost
- Snadná údržba
- Moderní vzhled a dokonalá povrchová úprava speciálními olejivzdornými laky [9]



Obr. 9) Moderní frézka FNG 32 [9]

3.4 Momentální stav frézky FNG 32

3.4.1 Pohledy frézky



1- Svislý odklopný vřeteník, 2- naklápěcí stůl, 3- konsola, 4- vypouštěcí šrouby na olej, 5- ovládací panel, 6- pohon vřetene, 7- vřeteník, 8- hlavní elektro rozvaděč, 9- malý elektro rozvaděč

Obr. 10) Schématické znázornění frézky FNG 32 [10]

3.4.2 Vřeteník

Vřeteník a uložení vřetena je řešeno jako samostatná převodová skříň. Vřeteno je uloženo ve smykadlovém vřeteníku v horní části stojanu.

Všechna ozubená kola a hřídele jsou cementována a kalena. Hřídele převodovky jsou uloženy na kuličkových ložiskách. Vřeteno je uloženo na radiálních a axiálních ložiskách.

Vřeteno je poháněno stejnosměrným motorem s označením MB112 L-T a výkonem 5,8 kW s regulátorem IRO (tyristorový regulátor) přes tři stupňovou převodovku řazenou přepínačem na ovládacím panelu. Plynulou regulaci otáček zajišťuje potenciometr také na ovládacím panelu. Stroj má horizontální vřeteno s hydraulickým upínáním nástrojů na kužel ISO 40. Dále je zde vertikální odklopná hlava. Tu je však možné také naklápět $\pm 90^\circ$ a je opatřena ručně výsuvnou pinolou [10]



Obr. 11) Vertikální hlava s výsuvnou pinolou

3.4.3 Posuvy a ovládání stroje

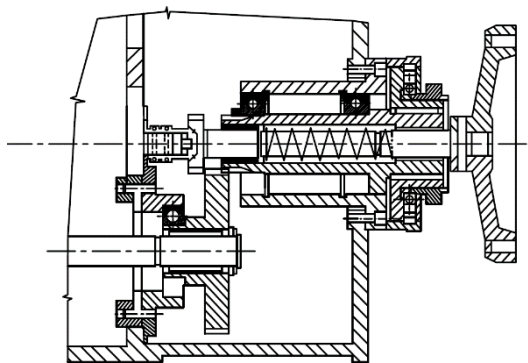
Posuvy jsou poháněny jedním stejnosměrným motorem s označením 4 SFT 100 o výkonu 2,8 kW s regulátorem IRO (tyristorový regulátor) přes tři stupňovou převodovku. Pro pohyb os je možné jet pracovním posuvem anebo rychloposuvem.

Ovládání stroje je soustředěno do ovládacího panelu, pomocí tlačítek a následné spínání příslušných spojek ve stroji. Rychlosti otáček jsou řazeny elektricky na ovládacím panelu pomocí 3-polohového přepínače. Stroj se zapne pomocí hlavního vypínače umístěného v zadní části hlavního rozvaděče. Pomocí příslušného tlačítka zapneme buď otáčky vlevo nebo vpravo. Pomocí potenciometru a stupnice nastavíme požadované otáčky vřetene. V případě že jsou otáčky vřetene nízké anebo příliš vysoké, zastavíme vřeteno a přeřadíme na nižší nebo vyšší rychlostní stupeň.

Ruční pojezdy ve všech osách jsou provedeny koly s otočnými rukojeťmi. Kola jsou vybavena bezpečnostními spojkami a mikrospínači. Tím je docíleno, že při posuvu či rychloposuvu se kola neotáčejí. Při ručním pojezdu je nutné kolo axiálně povytáhnout od stroje asi o 12 mm. Tímto pohybem zasuneme ozubení do záběru a můžeme konat pohyb v příslušné ose. Po uvolnění rukojeti se ruční kolo automaticky zasune zpět, sepne mikrospínač a je možno pustit strojní posuv. Konstrukční provedení je patrné z (obr.12).

K hrubému odečítání délek pojezdů jsou na všech osách orientační měřítka s mm dělením. Hodnotu ukazuje přestavitelný ukazatel na (obr.13).

Pomocí otočných číselníků u ručních kol s dělením 0,01mm je možnost nastavit rozměry obrobku s přesností $\pm 0,01\text{mm}$.



Obr. 12) Konstrukční řešení přepínání manuálního/ strojního režimu [10]



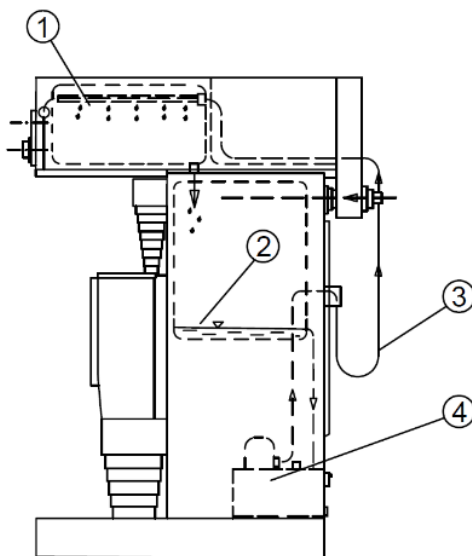
Obr. 13) Přestavitelný ukazatel s odměřovacím pravítkem

3.4.4 Mazání stroje

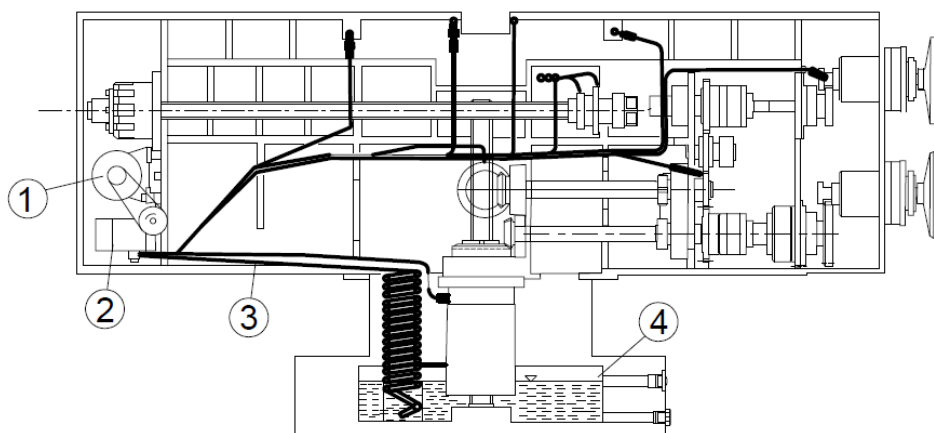
Mazání stroje je rozděleno do 2 mazacích okruhů. Jeden okruh je určen pro mazání rychlostní skříně vřeteníku a posuvové skříně ve stojanu. Schématické znázornění je uvedeno na (obr.14). Mazací olej je přiváděn od čerpadla (4).do sprchy ve skříně vřeteníku (1). Odtud stéká do posuvové skříně (2) a odpadem ve dně hadicí zpět do nádrže. Nádrž na olej je umístěna v podstavci stroje. Přístup k čerpadlu je umožněn odklopením zadního víka stroje. Kontrolu správného mazání provádíme olejoznakem umístěným na vřeteníku. Vyprázdnění oleje provedeme vyčerpáním. [10]

Druhý mazací okruh je určen k mazání konsoly (obr.15). Do mazacího okruhu je olej dodáván pístovým mazacím čerpadlem. Trubičkami z umělé hmoty je olej rozveden do všech vedení, pohybových matic a na ostatní místa v konsole. Množství oleje přiváděné k mazaným místům je od výrobce seřízené na čerpadle. Olej je nasáván z nádrže v podstavci stroje. Maximální hladinu oleje určuje olejoznak na boku podstavce. Funkci mazání kontrolujeme olejoznakem.

Mazání stroje během provozu je automatické. Při demontáži ochranných krytů bylo zjištěno, že mazání nefungovalo zcela správně.



Obr. 14) Mazání stroje [10]



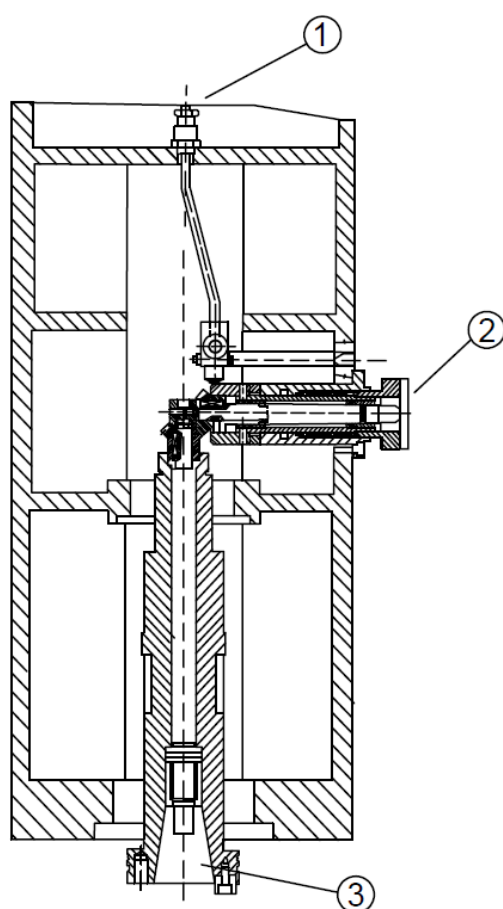
(1) elektromotor, (2) čerpadlo (3) mazací potrubí
(4) nádrž s olejem

Obr. 15) Mazání konsoly [10]

3.4.5 Upínání nástrojů:

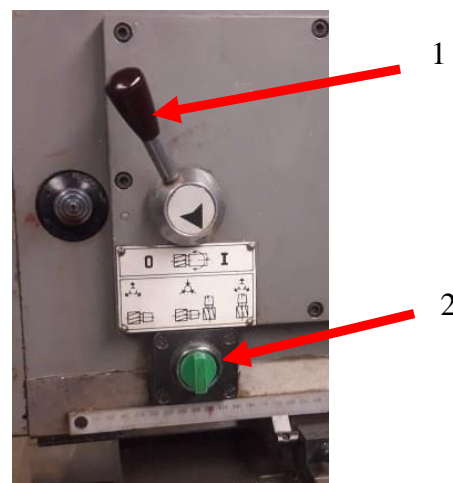
Nástroje potřebné pro práci na nástrojářské frézce FNG 32 se upínají do vodorovného či svislého vřeten s kuželem ISO 40. Upínání nástroje se provádí pomocí hydraulicky ovládané kleštiny.

Schématické znázornění svislé frézovací hlavy je uvedeno na (obr.16). Dále bude popis odkazován na (obr.17), kde bude vysvětleno upínání nástroje. Nejprve je zapotřebí mít páku (1) v poloze (I) a otočit spínačem (2) na vřeteníku. Kleština se uvolní a obsluha poté může zasunout nástroj. Pro upnutí nástroje se spínač vrátí zpět do původní polohy (2) a kleština se sevře. Pro vodorovné (horizontální) frézování je zapotřebí sundat vertikální hlavu, která je připevněna ke vřeteníku 6-ti šrouby. Následně se vertikální hlava odklopí. Postup pro upnutí nástroje je obdobný jako pro svislé frézování s tím rozdílem, že páka (1) na vřeteníku se přestaví do polohy (b). Samotné upnutí nástroje probíhá úplně stejně.



- 1- Připojení hydraulického obvodu
- 2- místo připojení na horizontální vřeteno
- 3- upínací kužel ISO 40

Obr. 16) Svislá frézovací hlava [10]

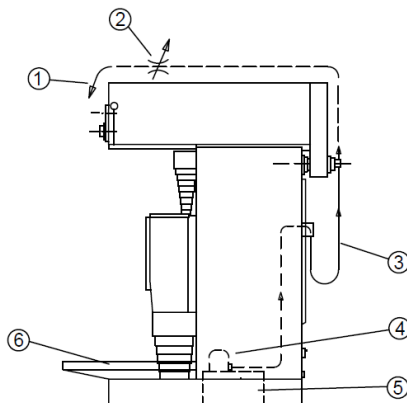


- 1) Horizontální/ vertikální vřeteno
- 2) vyjmutí, upnutí nástroje

Obr. 17) Výměna nástroje

3.4.6 Přívod procesní kapaliny

Procesní kapalina je přiváděna od čerpadla (4), které je umístěno v dolní části stojanu. Odtud je kapalina přiváděna potrubím (3) do místa obrábění (1). Následně kapalina stéká pod stroj do nádoby, kde je hrubé síto (6). Dojde zde k oddělení velkých třísek a kapalina se vrací zpět do nádrže k čerpadlu (5). Na (obr.č.18) je uvedeno schématické znázornění přívodu řezné kapaliny. Regulace množství kapaliny je možné ovládat škrtícím ventilem (2) připevněným na vřeteníku.



Obr. 18) Schéma přívodu procesní kapaliny [10]

3.4.7 Konsola

Uložení stolu a svislého šroubu

Vodorovný konsolový stůl je uložen na tělese konsoly. Vedení konsoly je obloženo kalenými ocelovými plechy. Tím je zaručena vysoká životnost vedení a dlouhodobá přesnost uložení. Na stole je pevně uchycena pohyblivá matice osy X.

V případě osy Z je svislý kuličkový šroub upevněn v podstavci stroje. Jeho kuličková matice je otočně uložena v tělese konsoly a přes kuželové kolo poháněna od převodů konsoly. Tato matice nemá vymezení vůle. Váha konsoly působí vždy směrem dolů, takže vymezení vůle není prakticky třeba.[10]

Uložení vodorovného šroubu

Vodorovný šroub konsoly je otočně uložen v tělese konsoly. Radiální i axiální uložení šroubu je v kuličkových ložiskách.

Kuličková matice je pevně uchycena na svislém stole.[10]

3.4.8 Hrubé odměřování

Při ručním posuvu pro hrubé nastavení pojezdu vřeteníku je určeno pravítko s ukazatelem, viz (obr.18). Poloha ukazatele je přestavitelná a je pojištěna šroubkem. Ukazatel je upevněn na tyčce. Při nastavení ukazatele je nutno ponechat vůli mezi pravítkem a ukazatelem. Jinak dojde k odření pravítka.[10]

3.5 Elektroinstalace

3.5.1 Rozmístění elektrické výzbroje

Hlavní část elektrické výzbroje je umístěna v rozvaděči, který se nachází za strojem. Elektrické ovladače (tlačítka, otočné přepínače, kontrolky, potenciometry) jsou umístěny na ovládacím panelu, jejichž rozmístění je patrné z (obr.19).

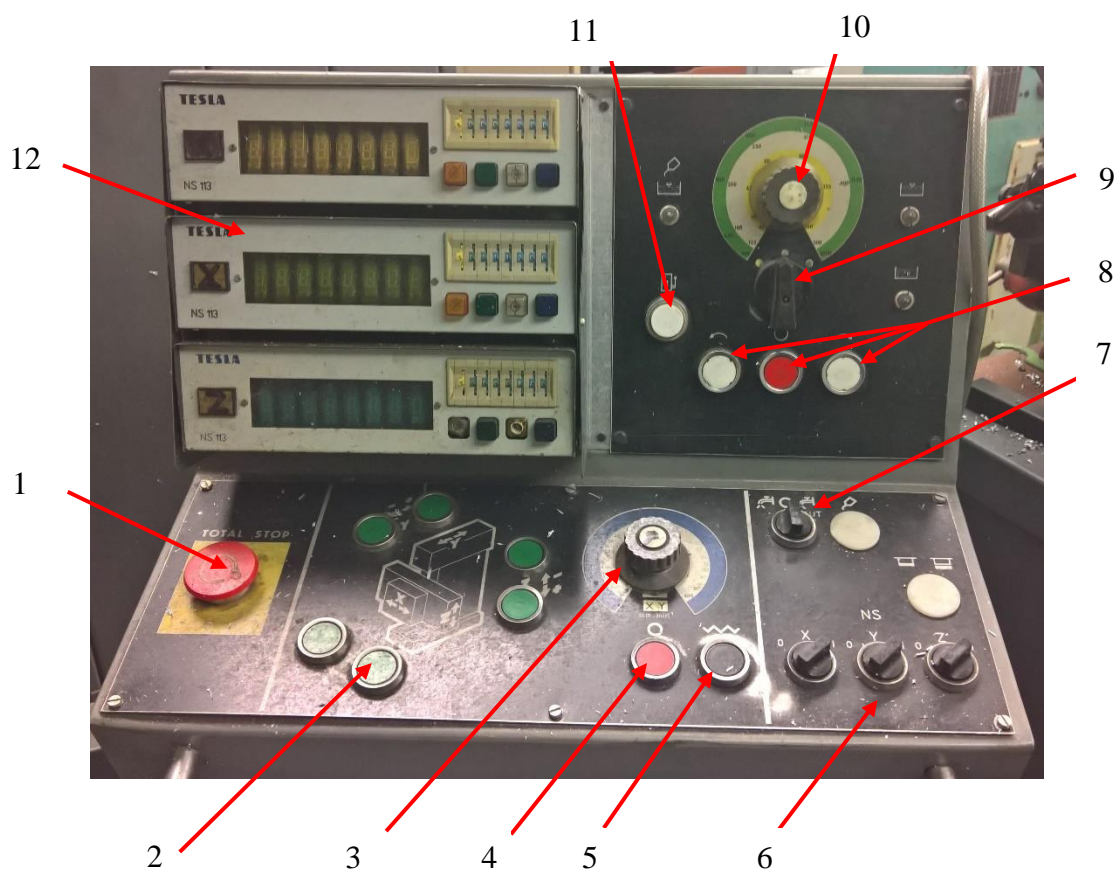
Hlavní vypínač (polohy 0,1) je na hlavním rozvaděči.

Jednotlivé elektromotory, elektromagnetické. spojky, brzdy a mikropsínače jsou rozmístěny ve stroji. Osvětlení stroje je napájeno 24V a přípevněno v horní části vřeteníku.

3.5.2 Ovládací panel

Veškeré ovládání elektrických funkcí stroje se provádí z ovládacího panelu. Panel je konstruován tak, že je možné ho natáčet a obsluha má tedy možnost si ho nastavit do nejvhodnější polohy. Panel je připevněn na rameni, na kterém se může otáčet a také se může otáčet kolem své osy

Popis celého ovládacího panelu nejlépe vystihuje níže uvedený (obr.19). Z toho je patrné, k čemu slouží jednotlivé ovládací prvky



1- Total Stop, 2- pohyb os v kladném/ zaporném směru, 3- regulace rychlosti posuvu,
 4-stop posuv, 5- rychloposuv, 6- aktivace os pro strojní pohyb, 7- chladící kapalina, 8- stop
 otáček vřetene (červené) + směr otáček (bílé), 9- řazení otáček vřetene, 10- regulace otáček
 vřetene, 11- zapnutí, 12- zobrazovací jednotka

Obr. 19) Ovládací panel- popisky

3.5.3 Koncové havarijní narážky v ose X, Y, Z

Pro omezení rozsahu pojezdů v jednotlivých osách je stroj vybaven v každé ose čtyřkolíkovou hlavicí. Hlavice je složena ze čtyř mikrospínačů tj. koncové a havarijní narážky.

Jmenovitý rozjezd v osách x, y, z je omezen koncovými narážkami. V případě najetí na narážky dojde nejprve k vypnutí rychloposuvu a zamezení možnosti vyjmout nástroj. Pokud však strojní posuv pokračuje dále a dojde na další narážku, dojde k zastavení posuvu. Pohyb zpět už je možný pouze ručně.[10]

3.5.4 Odměřovací systém

Odměrování je provedeno pomocí systému hřebínku a pastorku. Je použit snímač IRC 101 s indikátorem polohy NS-112.[11] Zobrazovací jednotka je uvedena na (obr.19). V momentálním stavu je toto odměřování zcela nefunkční.

3.5.5 Dokumentace malého rozvaděče

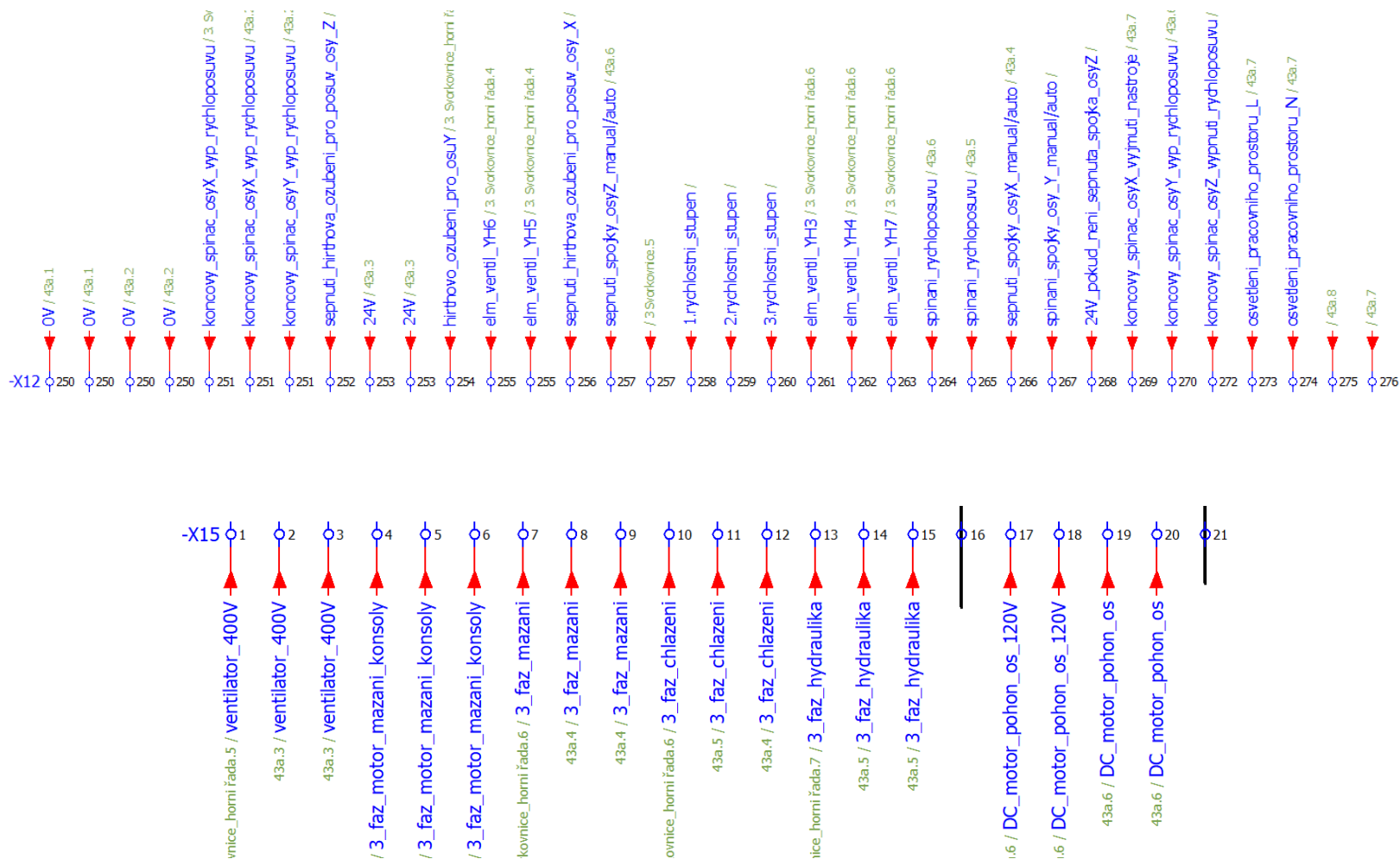
Aby bylo možné uvažovat o rekonstrukci elektroinstalace, bylo zapotřebí zdokumentovat staré zapojení stroje. Jelikož není k dispozici, žádný manuál ani schéma, podle kterého by se dalo vycházet a určit kam jednotlivé kabely vedou, bylo zapotřebí jednotlivé vodiče proměřit. Na pravé straně stroje je připevněn menší rozvaděč (obr.10, poz.9). Tento rozvaděč slouží k propojení vodičů mezi hlavním rozvaděčem stroje, který je umístěn v pozadí stroje. Dále je v tomto menším rozvaděči provedeno vzájemné propojení jednotlivých koncových spínačů.

Byl zdokumentován pouze menší rozvaděč, kdy v případné modernizace, nebude zapotřebí využít složité zapojení výkonových prvků ve velkém rozvaděči. Ve velkém rozvaděči se nachází prvky jako jsou: transformátory, usměrňovače, stykače, jističe, keramické pojistky, časová relé apod. Stroj je tedy řízen pomocí releové logiky.

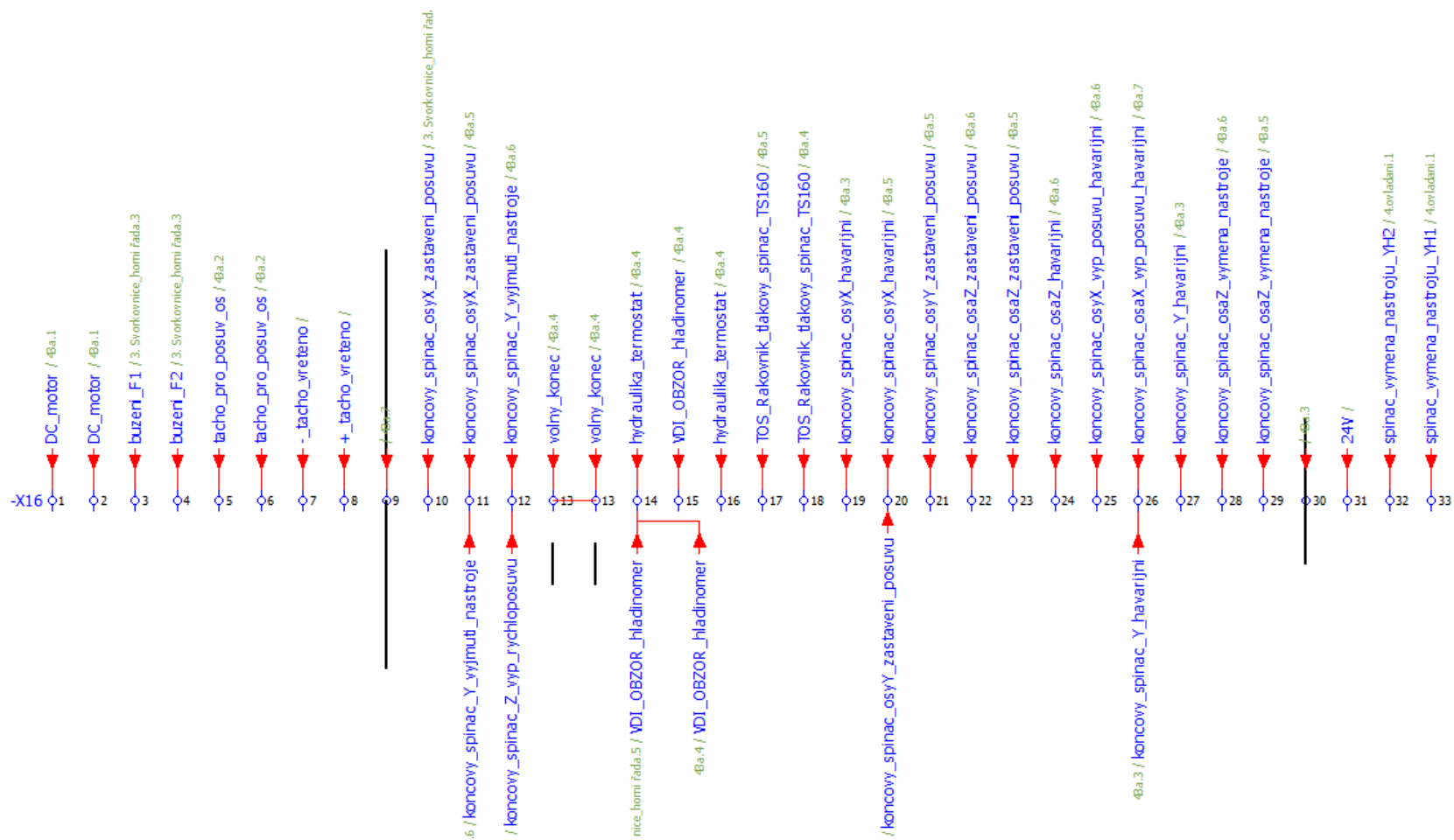
V rámci obnovení správné činnosti stroje byl zakoupen externí měnič pro DC motor na pohon vřetene. Ten v případě rekonstrukce bude také odstraněn spolu s velkým rozvaděčem.

Na následujících obrázcích (obr.20,21) je uvedeno zapojení malého rozvaděče s popiskem svorek.

Při dokumentaci stroje nebyla odhalena funkce elektromagnetických ventilů s označením YH3, YH4, YH5, YH6, YH7. Aby bylo možné zjistit správnou funkci těchto ventilů, bylo by zapotřebí stroj rozebrat. Poté by bylo možné při odkrytém stojanu zjistit, kam jednotlivá potrubí vedou.



Obr. 20) Zapojení rozvaděče část 1



Obr. 21) Zapojení rozvaděče část 2

3.5.6 Technické parametry stroje

Stůl		
Rozměr pracovní plochy	mm	800 x 400
Upínací drážky- počet - šířka a rozteč	mm	7 14 x 50
Maximální zatížení stolu	kg	350kg
Pracovní zdvih- podélný - příčný - svislý	(X) mm (Y) mm (Z) mm	600 400 400
Posuvy - ovládání - rozsah - rozsah	X,Y mm/min Z mm/min	plynule 0 – 800 0 – 400
Rychloposuv	X,Y mm/min Z mm/min	2000 1000
Horizontální vřeteno		
Rozsah otáček	ot/min	plynule
Počet rychlostních stupňů		3
Řazení otáček		elektricky
Upínání nástroje		hydraulicky
Vertikální vřeteno		
Rozsah otáček	ot/min	plynule
Počet rychlostních stupňů		3
Řazení otáček		elektricky
Natočení vertikální hlavy	°	±90
Výsuv pinoly	mm	80
Upínání nástroje		hydraulické
Stroj		
Výkon hlavního DC motoru	kW	5,8
Výkon posuvového DC motoru	kW	2,8
Pomocné pohony		
Mazání stroje		3CZA2, 90W
Prívod procesní kapaliny		2COA1-10P1, 10l/min -> 30kPa

Tab 1) Technické parametry [9,10]

4 STANOVENÍ CÍLŮ

Cílem této práce je navrhnout varianty možného řešení pro frézku FNG 32. Následně navrhnout schéma zapojení s novým řídicím systémem a návrh řízení. Hlavní důvod výměny momentálního stavu je zastaralost a nefunkčnost aktuálního systému řízení. Frézka je však nadále provozuschopná, ale pouze za pomoci ručně ovládaných kol a odměřovacích pravítek připevněných na stroji.

Nový řídicí systém bude nabízet možnost pohybu jednotlivých os pomocí tlačítek, zadávání a najetí do požadované polohy, odměřování aktuální pozice, regulace otáček vřetene a další možnosti, které budou vysvětleny v příslušných částech práce.

Dílčí cíle práce:

- Návrh a výběr vhodných pohonů a jejich ovladačů
- Technicko – ekonomické zhodnocení variant
- Výběr a zdůvodnění vybraného řešení
- Volba řídicího systému a jeho komponent
- Návrh elektrických schémat k řídicímu systému
- Návrh řízení vč. vizualizace
- Závěr

5 VARIANTY ŘEŠENÍ:

5.1 Varianta 1

Zachování stejnosměrných motorů a rekonstrukce řízení

Tato varianta zahrnuje zachování obou stejnosměrných motorů (vřeteno, pohyb os) a osazení stroje novým řídicím systémem a odměřováním

Pohony a větší část elektrického ovládání by zůstala zachována od originálního návrhu TOS Žebrák. Stroj by fungoval na obdobném principu jako doposud. Bylo zjištěno, že stykače v hlavním rozvaděči fungují. Pokud chce nyní obsluha ovládat stroj z ovládacího panelu, tak tlačítka na něm nefungují. Jako řešení by tedy bylo detailnější zdokumentování kabeláže až do hlavního rozvaděče. Poté by následovalo vhodné propojení stykačů a ovládacích tlačítek. Dále by byl nainstalován samostatný univerzální 3-osý měřicí systém např. SIKO MA 523

Výhody této varianty:

- Finanční úspora při použití stávajících pohonů
- Ponechání momentální instalace a rekonstrukce pouze zásadních částí stroje

Nevýhody varianty:

- Vysoká náročnost na oživení a správnou funkci stroje
- Nedostupnost kompletní dokumentace zapojení hlavního rozvaděče v případě poruchy
- Nedostupnost náhradních dílů
- Možnost degradace staré elektroniky

Jelikož je tato varianta nevhodná pro realizaci, kdy převahuje více negativních názorů, byla proto tato varianta zavržena hned na začátku.

5.2 Varianta 2

Výměna DC pohonů a osazení novým řídicím systémem

V rámci této varianty byla posuzována možnost vyměnit stávající stejnosměrné pohony za nové střídavé pohony. Pro pohon os by byly využity střídavé synchronní servomotory a pro pohon vřetena 3-fázový asynchronní pohon. Řešením by tedy byl stroj, který je osazen třemi AC servopohony na každé ose a novým pohonem pro vřeteno 3-fázovým asynchronním motorem. Dále by byl použit řídicí systém např. značky Beckhoff nebo Siemens spolu s HMI panelem a digitálním odměřováním. Výběr značky bude zhodnocen v další kapitole

Výhody varianty

- Možnost nezávislého pohybu jednotlivých os
- Usnadnění návrhu a instalace
- Možnost případného povýšení stroje na pohyb ovládaný G-kódem

Nevýhody varianty

- Vysoké pořizovací náklady (3 servopohony, 3 frekvenční měniče, atd...)
- Náročný zásah do mechaniky celého stroje (spojky, brzdy)

Použitím této varianty řešení by byl stroj technicky velmi vyspělý oproti předchozí variantě, ale také za velmi vysokou pořizovací cenu. Příliš vysoký zásah do mechanické konstrukce stroje, by mohl ovlivnit negativně její přesnost a tuhost. To by mělo dopad na kvalitu obráběné součásti. Frézka by ztratila možnost ovládání ručními koly. Nutno podotknout, že tato frézka se ve školních dílnách používá především na výrobu přípravků potřebných pro ostatní zaměstnance ústavu, nikoliv pro sériovou výrobu.

Z důvodu výše zmíněných aspektů byla i tato možnost zavržena.

5.3 Varianta 3

Nový pohon pro vřeteno a osy, osazení novým řídicím systémem

Tato varianta vychází z momentálního stavu stroje, kdy je pro pohon os použit 1 centrální motor a pomocí spojek jsou jednotlivé osy ovládány. V této variantě se jedná o nahrazení DC motoru za AC servopohon s frekvenčním měničem nebo krokovým motorem. Také by byl nahrazen DC motor vřetene. Ten by nahradil 3-fázový asynchronní motor s frekvenčním měničem. Snímání polohy jednotlivých os by bylo provedeno pomocí lineárního magnetického pravítka a čtecí hlavy s referenčním magnetem nebo za pomoci optoelektronických snímačů, podrobnější popis a výběr bude uveden později.

Výhody varianty:

- Minimální zásah do stroje
- Minimalizování zastavěné plochy
- Obnovení původních funkcí
- Zvýšení přesnosti stroje

Nevýhody:

- Nelze řídit více než jednu osu
- Vyšší finanční náklady oproti Variantě 1

Po zhodnocení a srovnání jednotlivých variant bylo dospěno k závěru, že bude vybrána varianta 3.

5.4 Návrh pohonu pro vřeteno

5.4.1 Výpočet řezných podmínek při frézování

Pro výpočet řezných podmínek byla vybrána Nástrčná válcová fréza. Tato fréza se využívá ve školních dílnách. Řezné podmínky byly určeny ze zdroje [12,13], popř. doplňující parametry byly určeny ze znalostí obsluhy stroje v dílně. Pro výpočet parametrů vřetene, byla využita literatura [14].

FRÉZA NÁSTRČNÁ VÁLCOVÁ ČELNÍ S DRÁŽKOU DIN 1880-N, HSS - 80 mm			
Parametr	Označení	Hodnota	Jednotky
Průměr frézy	D_n	80	[mm]
Počet zubů	Z_n	10	[-]
Nástrojový úhel nastavení ostří	κ_r	90	[°]
Nástrojový ortogonální úhel čela	γ_0	12	[°]
Řezná rychlost	v_c	25	[m · min ⁻¹]
Posuv na zub	f_z	0,1	[mm]
Hloubka záběru	a_p	10	[mm]
Šířka záběru	a_e	80	[mm]
Úhel šroubovice	λ	30	[°]
Měrná řezná síla	k_{c1}	1500	[N/mm ²]
Konstanta měrné řezné síly	m_c	0,25	[-]

Tab 2) Řezné podmínky pro čelní frézování [12,13]

Otáčky nástroj:

$$n_n = \frac{v_c \cdot 1000}{D_n \cdot \pi} = \frac{20 \cdot 1000}{80 \cdot \pi} = 79,58 \text{ [ot} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1)$$

Rychlost posuvu:

$$v_f = n_n \cdot Z_n \cdot f_z = 79,58 \cdot 10 \cdot 0,1 = 79,58 \text{ [mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (2)$$

Střední tloušťka třísky při frézování:

$$hm = \frac{f_z \cdot \sin(\kappa_r) \cdot 180 \cdot a_e}{\pi \cdot D_n \cdot \arcsin\left(\frac{ae}{Df}\right)} = \frac{0,1 \cdot \sin(90) \cdot 180 \cdot 80}{\pi \cdot 80 \cdot \arcsin\left(\frac{80}{80}\right)} = 0,064 \text{ [mm]} \quad (3)$$

Měrná řezná síla při frézování:

$$k_{cf} = k_{cl} \cdot h_m^{-m_c} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right) = 1500 \cdot 0,064^{-0,25} \cdot \left(1 - \frac{12}{100}\right) = 2624,39 \text{ [N/mm}^2] \quad (4)$$

Potřebný výkon vřetena při frézování:

$$P_f = \frac{v_f \cdot a_p \cdot a_e \cdot k_{cf}}{6 \cdot 10^4} = \frac{79,58 \cdot 10 \cdot 80 \cdot 2624,39}{6 \cdot 10^4} = 2784,65 [W] \quad (5)$$

Řezná síla při frézování

$$F_{cf} = k_{cf} \cdot a_p \cdot f_z = 2624,39 \cdot 10 \cdot 0,1 = 2624,39 [N] \quad (6)$$

Kroutící moment

$$M_{kf} = F_{cf} \cdot \frac{D_{nf}}{2 \cdot 10^3} = 2624,39 \cdot \frac{80}{2 \cdot 10^3} = 104,98 [Nm] \quad (7)$$

5.4.2 Výpočet řezných podmínek při vrtání

Jako další typ zatěžování byla zvolena technologie vrtání. Pro další výpočet pohonu vřetene byl použit vrták od společnosti Sandvik s označením 460.1-1600-072A0-XM GC34. Tento monolitní karbidový vrták byl vybrán pomocí průvodce Coro Plus Tool Guide.[15]

Monolitní karbidový vrták 460.1-1600-072A0-XM GC34			
Parametr	Označení	Hodnota	Jednotky
Průměr vrtáku	D_v	16	[mm]
Počet břitů	Z_n	2	[-]
Nástrojový úhel nastavení ostří	κ_r	70	[°]
Nástrojový úhel čela	γ_0	30	[°]
Řezná rychlost	v_c	84	[m · min ⁻¹]
Posuv na otáčku	f_{zvr}	0,32	[mm]
Měrná řezná síla	k_{c1}	1500	[N/mm ²]
Konstanta měrné řezné síly	m_c	0,25	[-]

Tab 3) Řezné podmínky pro vrtání [15]

Otáčky nástroje:

$$n_n = \frac{v_c \cdot 1000}{D_v \cdot \pi} = \frac{84 \cdot 1000}{16 \cdot \pi} = 1671,13 [ot \cdot min^{-1}] \quad (8)$$

Posuv na břit

$$f_z = \frac{f_{zvr}}{Z_n} = \frac{0,32}{2} = 0,16 [mm] \quad (9)$$

Rychlost posuvu:

$$v_f = n_n \cdot f_{zvr} = 1671,13 \cdot 0,32 = 534,76 [mm \cdot min^{-1}] \quad (10)$$

Specifická řezná síla

$$k_{cv} = k_{cl} \cdot (f_z \cdot \sin(\kappa_r))^{-m_c} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right) =$$

$$1500 \cdot (0,16 \cdot \sin(70))^{-0,25} \cdot \left(1 - \frac{30}{100}\right) = 1686,21 [N/mm^2] \quad (11)$$

Požadovaný výkon vřetena

$$P_v = \frac{v_c \cdot f_z \cdot D_V \cdot k_{cv}}{240} = \frac{84 \cdot 0,16 \cdot 16 \cdot 1686,21}{240} = 1510,84 [W] \quad (12)$$

Krouticí moment

$$M_{kv} = \frac{P_v \cdot 30}{n_n \cdot \pi} = \frac{1510,84 \cdot 30}{1671,13 \cdot \pi} = 8,63 [Nm] \quad (13)$$

5.4.3 Zhodnocení a volba pohonu

V předchozích dvou podkapitolách byly uvedeny dvě technologické operace. Pro frézování a vrtání byly vypočteny hodnoty výkonu a kroutícího momentu. V tabulce 4 jsou uvedeny obě operace s porovnáním výsledků momentu a výkon

Porovnání vypočtených výsledků			
Parametr	Frézování	Vrtání	Jednotky
Výkon vřetena	2784,65	1510,84	[W]
Krouticí moment	104,98	8,63	[Nm]

Tab 4) Shrnutí výsledných parametrů

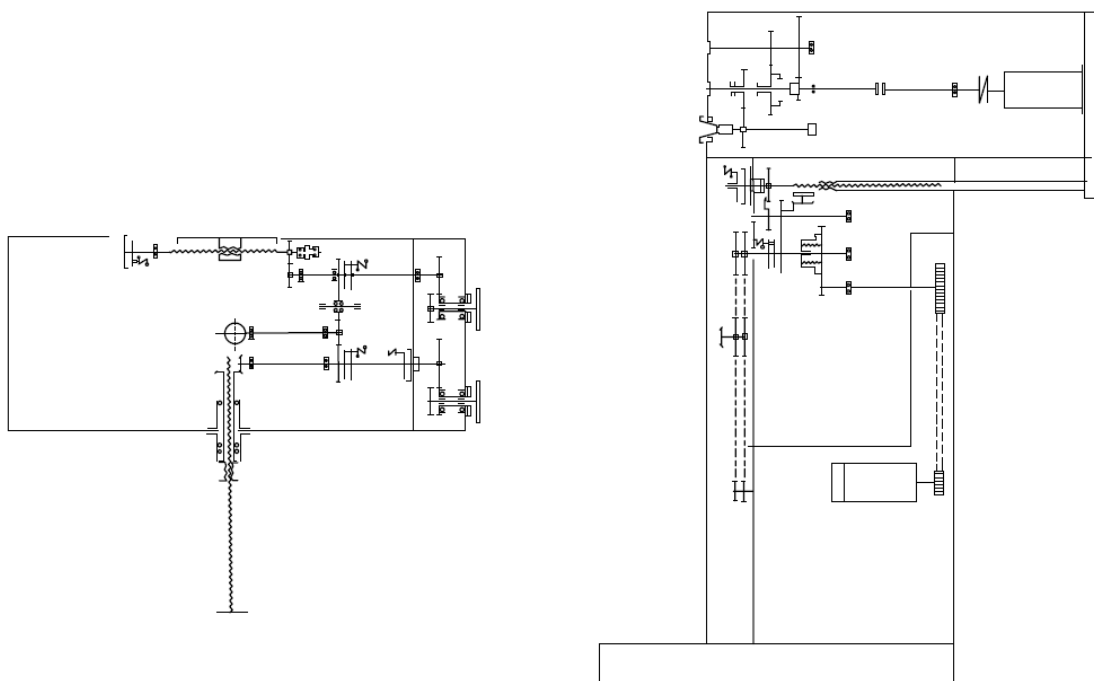
Z vypočtených hodnot byl zvolen 3-fázový asynchronní motor, s výkonem 4 kW a kroutícím momentem 26 Nm. Jelikož není známa kompletní mechanická struktura převodovky a dalších částí stroje, byl motor zvolen o vyšší výkonovou kategorii.

Stroj má zabudovanou 3-stupňovou převodovku, kdy byl dopočítán převodový poměr získán při měření. Hodnoty byly zaneseny do následující tabulky.

<i>Převodový stupeň</i>	<i>převodový poměr i</i>
1	13,75
2	4,4
3	1,1

Tab 5) Přehled převodových poměrů na vřetenu

Na obr.22 je schématické znázornění ozubených převodů celého stroje a konsoly. Proto byly podstoupeny kroky pro volbu pohonu os, které jsou uvedeny v další části práce



Obr. 22) Schéma pohonu os a vřetena [10]

6 TECHNIKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VARIANTY

Jedním z důležitých cílů této práce bylo vybrání vhodných komponent. Některé ceny jsou volně přístupné na internetu. V případě, většiny prvků však bylo zapotřebí kontaktovat obchodního zástupce a nechat si vše nacenit. Výběr se zaměřil především na značku Siemens a Beckhoff. V následující tabulce jsou uvedeny potřebné komponenty. Jednotlivé ceny nejsou zveřejněny, jelikož si firma Beckhoff zveřejnění nepřeje.

6.1 Výběr značky Siemens

Komponenta	Označení výrobce	Počet kusů
AC- pohon vřetena	1LE1003-1BB22-2AB4-Z F70	1
AC servo- pohon os	1FL6064-1AC61-0AG1	1
PLC SIMATIC S7 1200	6ES7214-1AG40-0XB0	1
Měnič pro pohon os V90	6SL3210-5FE11-5UF0	1
Měnič pro pohon vřetene G120C	6SL3210-1KE18-8AF1	1
Digi. Vstupy	6ES7221-1BF32-0XB0	2
Digi. Výstupy	6ES7222-1HF32-0XB0	2
Operátorský panel	6AV2123-2GB03-0AX0	1
Lineární pravítko	TMLS-01S-02-670	2
Lineární pravítko	TMLS-01S-02-470	1
Zdroj 24V DC	6EP3436-7SB00-3AX0	1

Tab 6) Vybrané komponenty značky Siemens [16]

6.2 Výběr od značky Beckhoff

Komponenta	Označení	Počet kusů
AC- pohon vřetena	1LE1003-1BB22-2AB4-Z F70	1
AC servo- pohon os	AM8052-1F21-0000	1
PC+ displej	CP6606-0001-0020 +C9900-U213	1
Měnič pro pohon os	AX 5106-0000-0202	1
Měnič pro pohon vřetene	CT C300	1
BUS Coupler..	EK1100	1
Digi. Vstupy	EL 1008	4
Digi. Výstupy	EL 2008	3
Analog. Vstupy	EL 3002	1
Inkrementální enkodér	EL5101	3
Zdroj 24 VDC	PS3031-2420-0001	1
Bus and cup	EL9011	1
Lineární pravítko	TMLS-01S-02-670	2
Lineární pravítko	TMLS-01S-02-470	1

Tab 7) Vybrané komponenty značky Beckhoff [17]

6.3 Technické zhodnocení

Technické parametry všech vybraných komponent, byly vybírány ze stejnými nebo velmi podobnými parametry. Pro pohon vřetene byl použit standardní 3-fázový elektromotor, jelikož není zapotřebí použití vřetenového motoru např. značky Siemens 1PH8 apod.

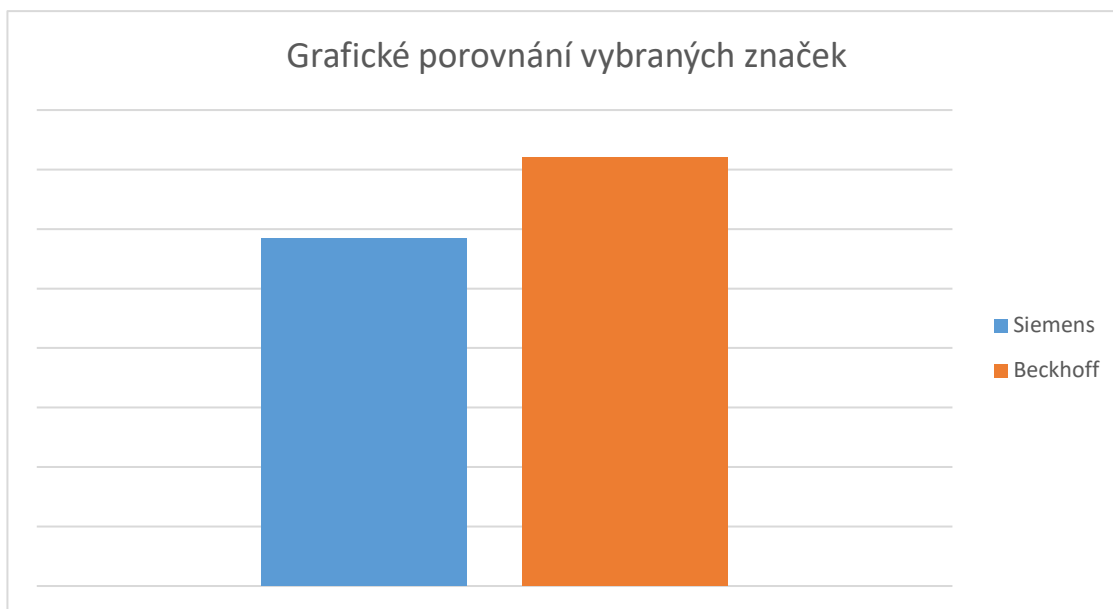
Pro pohon os byl zvolen AC servomotor. Jako další alternativa pohonu os by bylo možné využití krokových motorů. Tyto motory jsou z ekonomického hlediska výhodnější, ale za to mají výrazné nedostatky pro tuto aplikaci. Nevýhody krokových motorů mohou být např.: citlivé na přetížení, hlučný provoz, v případě nedostatečného kroutícího momentu dochází k prokluzu nebo ztrátě kroku.

Pro přímé odměřování byly využity lineární magnetická pravítka. Jelikož frézka nebude přestavěna na CNC a tudíž není zapotřebí referencování os, byly zvoleny tyto pravítka. Nemají referenční signál, pravítko je utěsněno manžetou proti vniknutí nečistot, a tak jsou pro tuto aplikaci technicky i cenově vyhovující. V následující kapitole je samotné odměřování vysvětleno více s uvedenými cenami a porovnáním oproti optoelektronickým snímačům.

Řídící systém byl vybrán podle požadované funkce. Z technického hlediska jsou značky Siemens a Beckhoff velmi podobné, nebo stejné. Liší se od sebe jen v nepatrných rozdílech.

6.4 Ekonomické zhodnocení

Ekonomické zhodnocení vybraných značek není možné s konkrétními čísly, jelikož firma Beckhoff si nepřeje tyto ceny uveřejnit. Z toho důvodu byl vytvořen pouze slepý graf pro jejich cenové porovnání. Porovnání je tedy možné alespoň vizuálně. Značka Siemens byla o 21% levnější oproti značce Beckhoff



Graf 1) Celkové porovnání vybraných značek

6.5 Výběr pro realizaci

Pro realizaci frézky byla vybrána varianta značky Beckhoff. I přesto že Siemens vyšel levněji, byla vybrána varianta řešení se značkou Beckhoff. Značka byla vybrána na základě technicko-ekonomického zhodnocení a konzultací s vedoucím práce. Další aspekt, který ovlivnil výběr byl ten, že škola již delší dobu spolupracuje s touto značkou na svých projektech a je využívána i v rámci výuky. Také jsou ve škole k dispozici některé rozšiřující karty digitálních vstupů či výstupů. Ty nebyly do této práce zahrnuty.

Do ekonomického zhodnocení nebyly zahrnuty licence pro řídicí systém a nebo finanční náklady na pracovníka, který by zapojoval a oživoval celý stroj. Tyto položky značně navýší celkovou cenu na realizaci.

7 POPIS KOMPONENT

7.1 Panel PC

Pro řízení stroje bylo použito průmyslové PC s označením CP6606- 0001- 0020. Tento počítač má dotykový displej s jedním dotykem a velikosti obrazovky 7“. Tento panel je také znám pod názvem economy varianta.

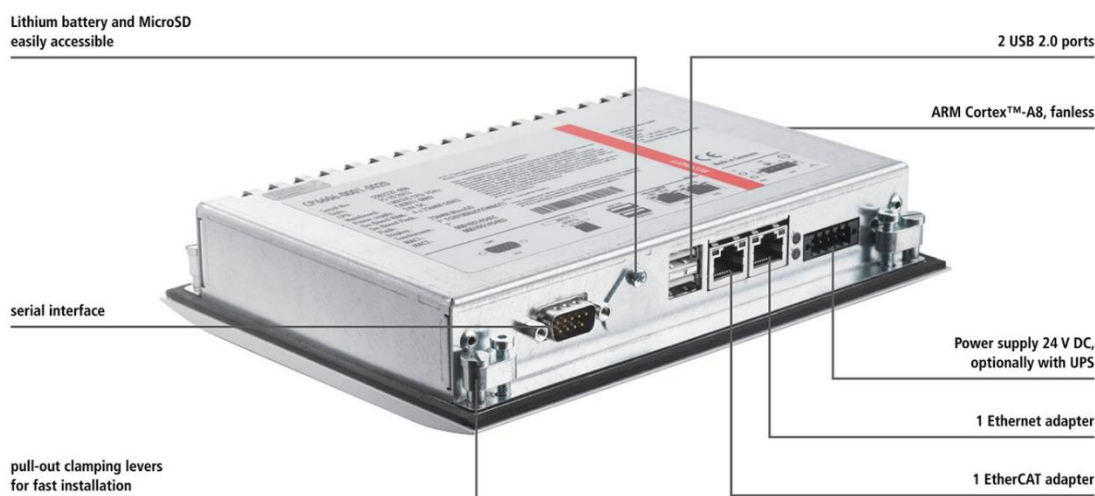
Instalace tohoto panelu je prováděna na ovládací skříň a tedy je možné ho využít v různých aplikacích ve strojírenství jako integrovaný panelový počítač

Ve spojení s automatizačním softwarem TwinCAT běžícím na Windows Embedded Compact 7 Tato zařízení jsou ideální pro použití jako malé řídicí jednotky.

Panel disponuje 1 slotem pro micro SD. Velikost displeje je 7“ a rozlišení displeje 800 x 480. Dotyková obrazovka je v provedení ovládání jedním prstem. Dále je zde 1x EtherCAT, 1x Ethernet. Panel disponuje rozhraním 2x USB a 1x RS232. Napájení panelu je stejné jako pro všechny další prvky a to pomocí napájecího zdroje 24V. Na obr.19 je zobrazen panel a na obr.20 je výrobcem uvedeno řádné připojení. [18].



Obr. 23) Pohled na ovládací panel [18]



Obr. 24) Panel CP6606- 0001- 0020 [18]

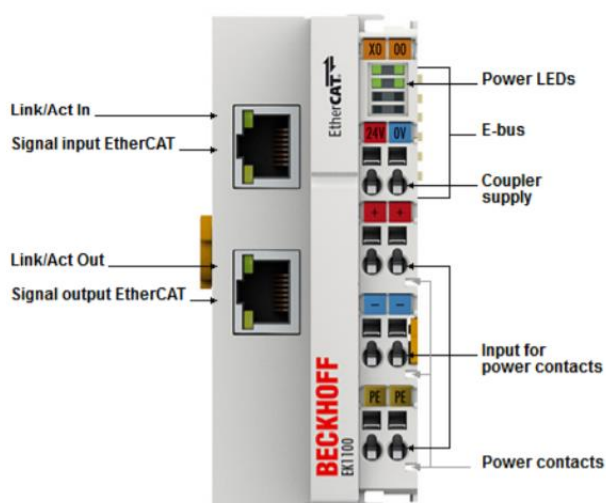
7.2 EtherCAT Coupler

Nedílnou součástí návrhu je EtherCAT Coupler, který je k PC panelu připojen přes kroucenou dvojlinku. Připojení je provedeno pomocí EtherCAT protokolu. Pro tuto práci byl zvolen Coupler s označením EK1100. Coupler obsahuje 2 konektory RJ-45. Napájení Coupleru zajišťuje zdroj se stejnosměrným napětím 24V. Napájení Coupleru je rozděleno na samotné napájení pro Coupler a napájení rozšiřujících karet. [19]

Coupler zajišťuje komunikaci mezi ním a rozšiřujícími kartami po sběrnici E-bus.

Jako rozšiřující karty je možné připojit např. digitální vstupy/ výstupy, analogové vstupy/ výstupy, inkrementální enkodér apod.

Montáž Coupleru se provádí na DIN lištu. Připojení karet se provádí nacvaknutím do pravé části Coupleru. Tím dojde ke vzájemnému propojení veškerých prvků.

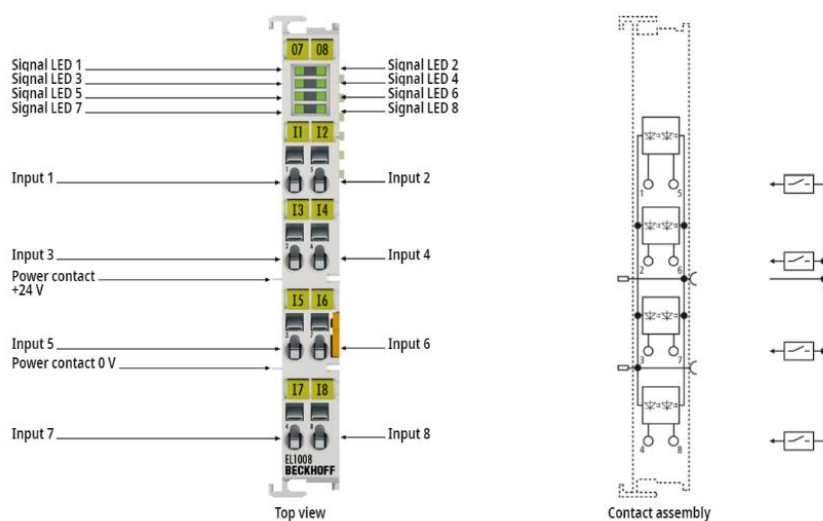


Obr. 25) EtherCAT Coupler EK1100 [19]

7.3 Digitální vstupy

Pro zapojení digitálních vstupů byla využita karta s označením EL1008, jenž nabízí 8 digitálních vstupů. V návrhu stroje byly využity 3 tyto karty. Tato karta bude použita pro propojení s koncovými spínači, tlačítka pro pohyb os, volbu osy, řazení převodového stupně na vřeteno a další. Propojení jednotlivých vstupů bylo provedeno pomocí tlačítek, jak je uvedeno v pravé části obrázku.

Pokud je vstup v log.1 signalizuje to integrovaná LED. Napájení a komunikaci zajišťují kontakty, které jsou vedeny uvnitř karty.



Obr. 26) Karta digitálních vstupů EL1008 [20]

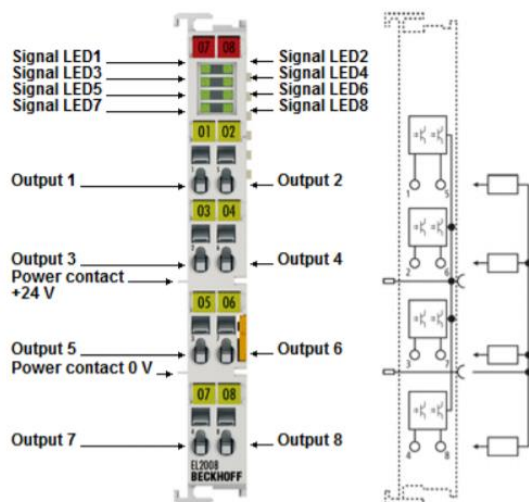
7.4 Digitální výstupy

Pro zapojení digitálních výstupů byla využita karta s označením EL2008, jenž nabízí 8 digitálních výstupů. Na tyto výstupy je následně připojena ovládací cívka stykače pro motory, jenž slouží např. pro mazání stroje a konsoly, spouštění chladicí kapaliny, hydraulického agregátu a ovládání elektrohydraulických ventilů.

Dále je také možné v nabídce firmy Beckhoff zakoupit tyto terminály s integrovaným relé, ale cena této karty je vyšší. Jako hlavní nevýhodou této karty je případ, kdy dojde k poruše relé a není možné ho vyměnit jako tomu je v případě externího relé.

Napájení a následné propojení komunikace je obdobné jako v případě digitálních vstupů a tedy, při nasunutí a secvaknutí do sebe jsou všechny karty spojeny v jeden celek.

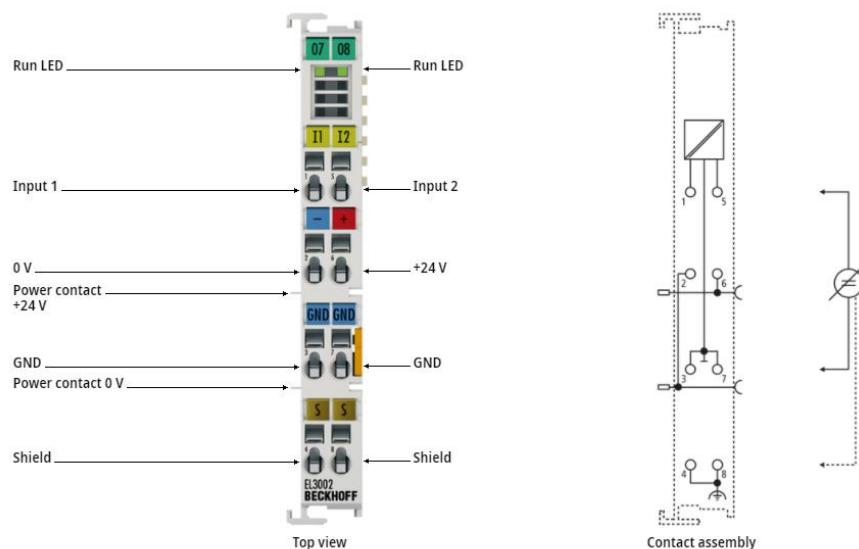
Signalizace aktivního výstupu je opět znázorněna indikační LED na rozšiřující kartě.



Obr. 27) Karta digitálních výstupů EL2008 [21]

7.5 Analogový vstup

Dvoukanálový analogový vstupní terminál EL3002 zpracovává signály v rozsahu mezi -10 a +10 V. Napětí je digitalizováno na rozlišení 12 bitů a je přenášeno do nadřazeného automatizačního zařízení. Vstupní kanály terminálu EtherCAT jsou jednostranné vstupy se společným interním zemním potenciálem. Stav signálu je indikován světelnými diodami. Tento terminál je pro plynulou regulaci otáček vřetene a pohyb os. [22]



Obr. 28) Karta Dvoukanálového analogového vstupu [22]

7.6 Inkrementální enkodér

Další rozšiřující kartou připojenou na Coupler je Inkrementální enkodér, který je zde využit ke snímání polohy jednotlivých os. Karta nese označení EL5101

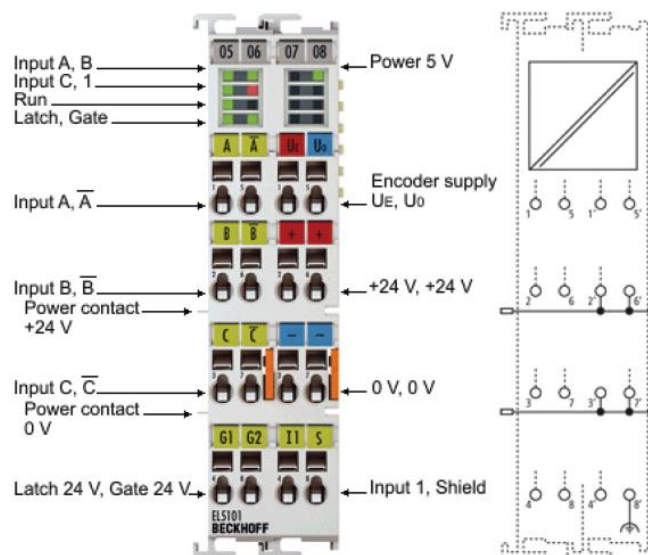
Tato karta je pro vstupní signál RS422 nebo TTL. Tedy byl zvolen lineární snímač polohy s výstupem TTL. Vstupní frekvence signálu, může být až 1MHz. Jsou zde k dispozici digitální vstupy 24V pro ukládání, blokování a nastavení stavu čítače.

Speciální funkce:

- integrované měření frekvence a periody
- Mikroinkrementy

Karta EL5101 navíc umožňuje měření periody nebo frekvence s rozlišením 100ns. S volitelnou funkcí interpolačního mikroinkrementu je možné poskytnout ještě přesnější polohy os pro dynamické osy.

Použití profilů kodéru umožňuje jednoduché a rychlé připojení procesních dat pro aplikace Motion Control. [23]



Obr. 29) Karta pro Inkrementální enkodér EL5101 [23]

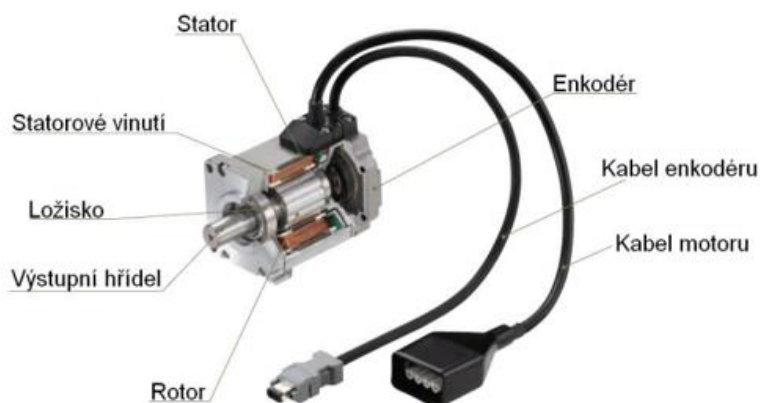
7.7 Servopohon

Popis servopohonu

Servopohony dělíme na AC a DC. AC servopohon je možné rozdělit dále na dvoufázový nebo třífázový servopohon.

Servomotory mají lepší dynamiku než původní krokové motory. Netrpí tolik na rezonance a dosahují vyšších rychlostí. V dnešní době se u moderních CNC strojů používají zejména servomotory.

Stator servomotoru obsahuje třífázové vinutí, rotor je pak zpravidla osazen permanentními magnety. Zpětná vazba polohy je zajištěna pomocí resolveru, inkrementálního, či absolutního enkodéru. Servomotory bývají často vybaveny integrovanou brzdou, jejíž přítomnost je nutná zejména v případě svisle orientovaných os stroje. [24]



Obr. 30) Servopohon [24]

Aplikace servomotoru

Výkon servomotoru může být řádově od desetiny watů až po několik stovek watů. Rotor servomotoru má nízkou setrvačnost. Využití servomotoru může být následující:

Výhody:

- Plochá momentová charakteristika v celém pracovním rozsahu otáček
- Práce v uzavřené smyčce se zpětnou vazbou polohy -> nehrozí ztráta polohy při přetížení
- Výborné dynamické vlastnosti
- Přetížitelnost
- Možnost integrované brzdy

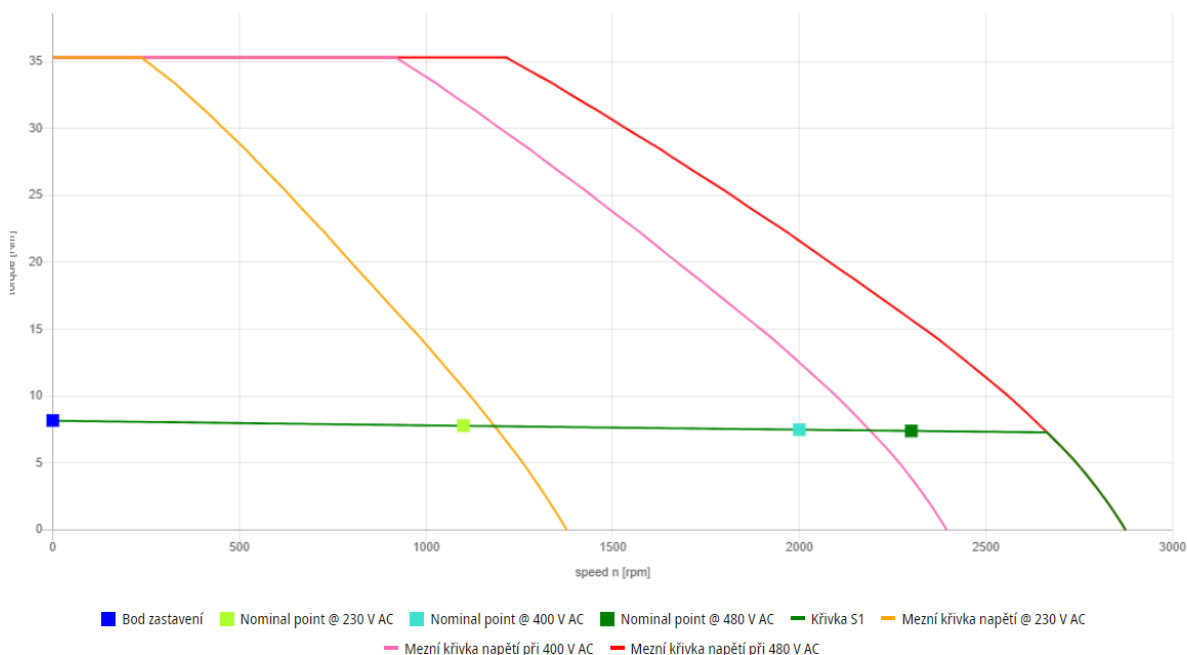
Nevýhody:

- Vyšší pořizovací cena
- Složitější nastavení a řízení, než u krokových motorů, popř. zapotřebí zvláštních periférií
- Omezená kompatibilita servořadičů a motorů různých modelů a výrobců [25]

V této variantě byl zvolen jako pohon lineárních os zvolen AC servomotor. Volba proběhla z výše uvedených výhod stroje. Samotný návrh pohonu os by měl být správně vypočten pomocí rovnic pro návrh pohonu. V tomto případě tomu tak nebylo a vycházelo se spíše z praktických poznatků při dokumentaci stroje.

Pro pohon os byl vybrán servomotor s označením AM8052-1F21-0000 se jmenovitým kroutícím momentem 7,20 Nm. Jedná se o standardní servomotor, který je vhodný pro řešení pohonů s vysokými nároky na dynamiku a výkon v rozsahu napájecího střídavého napětí 100...400V. Jmenovitá rychlost motoru je 2000 ot/min. Jmenovitý výkon tohoto servomotoru je 1,57kW. Motor dále disponuje více otáčkovým absolutním enkodérem, brzdou a hřídelem – pero drážka. Propojení motoru a servo měniče je provedeno pomocí technologie OTC (One Cable Technology => Technologie jedním kabelem).[26]

Výběr motoru byl také zvolen podle momentové charakteristiky, kde tato charakteristika je znázorněna na níže uvedeném obrázku.



Obr. 31) Momentová charakteristika servomotoru [26]

Návrh pohonu os nebyl proveden a ověřen výpočtem, ale vycházelo se z momentálního stavu stroje a poznatků nabraných při zdokumentování stroje.

Jak již bylo výše uvedeno, frézce FNG 32 se svou mechanickou konstrukcí velmi podobá frézka FNGJ 32. Dále i TOS Olomouc má volně dostupný prospekt moderní frézky FNG 32. Všechny tyto frézky se shodují v hlavních mechanických parametrech. Během návrhu bylo tedy vycházeno z podobností strojů v rámci technických parametrů (váha obrobku, rozsah posuvů, rychlost posuvů). V případě frézky FNGJ 32 je pro pohon os použit servopohon s označením 1HU3101-0AC01. Jedná se o DC servopohon značky Siemens. Jeho parametry jsou uvedeny v následující tabulce:

Parametry servopohonu pro FNGJ 32		
Max. otáčky	2000	ot/min
Výkon	1,49	kW
Kroutící moment	10	Nm

Tab 8) Pohon frézky FNGJ 32 [27]

V případě frézky FNG 32 výrobcem TOS Olomouc, je dle katalogu použit motor o výkonu 1,1 kW. Jeho kroutící moment nebyl uveřejněn, ani po telefonické domluvě.

Z výše uvedených parametrů konstrukčně stejných strojů, byl zvolen AC servopohon značky Beckhoff spolu s příslušným měničem.

7.8 Digitální kompaktní servoměnič

K výše zmíněnému servopohonu byl zvolen jednokanálový měnič s označením AX5106-0000-0202. Tento měnič nabízí optimální funkci, flexibilitu a efektivitu nákladů. Součástí měniče pro provoz je napájecí jednotka, EMC filtr a kondenzátory stejnosměrného meziobvodu, jenž jsou integrovány uvnitř zařízení. Řídící smyčka, která má kaskádovou strukturu, podporuje rychlé a vysoce dynamické úlohy polohování. Komunikace s řídicím PC probíhá pomocí systémové sběrnice EtherCAT.

Označení AX5106 vypovídá o tom, že se jedná o jednokanálový měnič se jmenovitým výstupním proudem 6A.

Zapojení a následné dimenzování kabeláže a jištění bylo provedeno dle katalogu[28]

Připojení měniče bylo provedeno dle zapojení uvedeného výrobcem. Nebyl zde využit brzdový rezistor, jelikož se osa nebude pohybovat v příliš vysokých rychlostech. A tudíž postačí interní rezistor.

DC napájení je připojeno na svorkovnici č. *X03*. Na svorkovnici č. *X01* je připojeno AC napětí 400V tedy, 3 fáze (L1, L2, L3) spolu s ochranným vodičem PE. Byly použity pojistky s hodnotou 10A, které byly určeny pomocí přiloženého katalogu z kapitoly 5.2.1 *Mains supply connection (X01)*. Z hlediska EMC nebylo zapotřebí zde použít

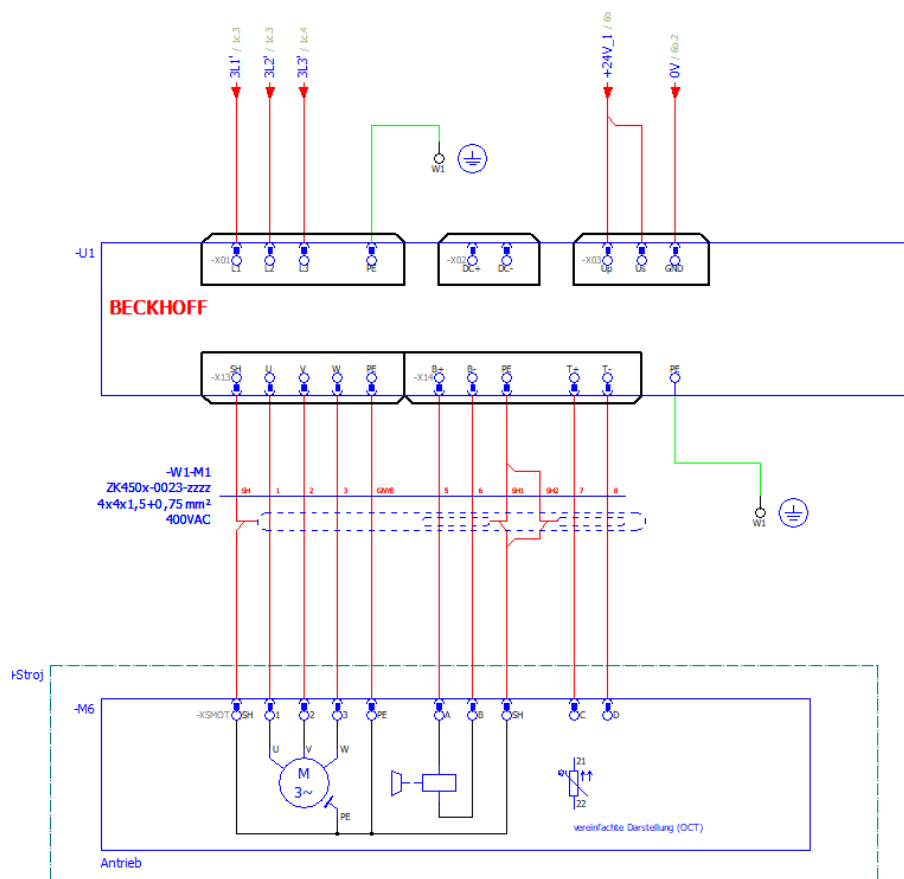
EMC filtr, jelikož jak je uvedeno výrobcem v kapitole 5.3 *Motors and cables*, kdy pro kabel kratší než 25 metrů, není zapotřebí použít EMC filtr.

Napájení motoru bylo připojeno na svorku *X13*.

Komunikace pomocí systémové sběrnice byla připojena na konektor č. *X04*. [28]

Připojení bezpečnostního modulu AX5801 bylo provedeno také podle zapojení doporučeného výrobcem. Tento modul plní bezpečnostní funkci STO (Safe Torque Off). [29] Zapojení modulu je v přiloženém schématu v části *Safety_relé_měniče*.

Zapojení měniče a motoru je uvedeno (obr.32).



Obr. 32) Zapojení servoměniče AX510 spolu se servomotorem

7.9 Napájecí zdroj 24V

Pro napájení veškerých komponent tohoto zapojení je kromě 400V AC také zapotřebí napětí 24V DC, které zajišťuje tento napájecí zdroj s označením PS3031-2420-000. Jedná se o 3-fázový napájecí zdroj s výstupním napětím 24V, výstupním proudem 20A a výstupním výkonem 480 W. Na vstupní straně má širokopásmový vstup, kompenzace účinníku (PFC) a regulace nárazového proudu.[17]



Obr. 33) Napájecí zdroj [17]

7.10 Asynchronní motor pro pohon vřetene

Pro pohon vřetene byl zvolen asynchronní elektromotor značky Siemens s označením Simotics GP = 1LE1003-1BB22-2AB4-Z F70.

Elektromotory 1LE10 jsou standardní nízkonapěťové asynchronní elektromotory s kotvou. Série Simotics GP (General Purpose) s hliníkovou kotrrou vyráběné Siemens v ČR se vyznačují velmi vysokou kvalitou a maximálními možnostmi konfigurace.

Tento vybraný elektromotor je 4-pólový s otáčkami 1500 ot/min. Napájení motoru je 3-fázové s napětím 400V AC. Výkon motoru je 4 kW, kroutící moment je 26 Nm a druh zatěžování motoru třídy S1. Motor není vybaven brzdou ani absolutním enkodérem. [30] Jelikož bude použit frekvenční měnič a tedy možnost práce při nižších otáčkách, byl motor osazen nuceným chlazením. Kdyby nebylo použito nucené chlazení, mohlo by dojít k přehřívání motoru.

Technické porovnání proběhlo ještě s motorem téže výkonové řady značky RAVEO s označením RMS112M4, kdy ceny byly téměř shodné. Rozdíl cen se pohyboval v řádech stovek korun.

Z technického hlediska jsou oba motory shodné. Pro návrh byl však vybrán motor značky Siemens, kdy případný enkodér na tento motor by byl levnější přibližně o 2 000 Kč než pro motor značky RAVEO. Enkodér by pak mohl být namontován např. ke kvalitní regulaci otáček spolu s lepším (dražším) měničem. Proto v této práci byla použita levnější varianta.



Obr. 34) Asynchronní motor Siemens [30]

7.11 Frekvenční měnič pro vřeten

Pro regulaci otáček asynchronního motoru byl vybrán frekvenční měnič značky Control Techniques řady Commander C300. Tato řada poskytuje maximální výkon zařízení s vektorovým algoritmem řízení motorového toku RFC-A, uživatelským PID regulátorem a programovatelnou vnitřní logikou včetně komparátorů a jiných užitečných funkcí. Měnič je navíc vybaven STO vstupy a je certifikován pro aplikace vyžadující SIL3/PLe.

Funkce měniče:

- Flexibilní integrace prostřednictvím mnoha dostupných funkcí.
- Logické funkční bloky, PID
- Vstup termistoru
- Dvojitý STO (bezpečné vypnutí)
- Integrované PLC (CoDeSys)
- Možnost SD karty pro ukládání a kopírování parametrů a/nebo PLC programů
- Možnost zálohování 24V
- Možnost komunikace RS485/Modbus RTU
- 2x analogový vstup, 1x analogový výstup, 1x digitální vstup/výstup, 1x relé
- Rozšiřující SI slot pro komunikaci nebo I/O (pouze měniče velikosti 2 a vyšší)

Z modelové řady byl vybrán měnič s přesným označením 03400094. Tento měnič má maximální výstupní proud 9,4 A a příkon zátěže 4kW. Tyto informace se nacházejí v příloženém katalogu měniče kapitoly 2.3 *Ratings* → *Table 2-3*.

Jištění měniče zabezpečuje pojistkový odpínač hodnoty 16A gG. Dále je zapojen vstupní filtr z důvodů EMC. Označení filtru je 4200- 3008.[31]

Ani v tomto případě nebyl zapojen brzdový rezistor, jelikož nebude na stroji docházet k žádnému prudkému brždění. Momentální stav stroje nedisponuje žádnou brzdou, a tedy se vřeten dotáhne vlivem setrvačnosti. Pokud by však v důvodů bezpečnosti byl vyžadován brzdový rezistor, bylo by zapotřebí tento krok konzultovat s technickou podporou Control techniques a hodnotu rezistoru zvětší částí odhadnout. Jelikož výpočet je závislý na setrvačnosti hmot, které jsou umístěny uvnitř stroje a není v tomto případě možné přesně zjistit veškeré parametry.

Měnič bude komunikovat pomocí sběrnice EtherCAT. Měnič samotný, není touto komunikací vybaven, a tedy bude zapotřebí ještě dokoupit tento komunikační modul. Modul bude zakoupen od firmy Control techniques, který se vloží do měniče a propojí s IPC pomocí RJ-45.[32]

Tento měnič nedisponuje zpětnou vazbou z enkodéru, aby bylo možné přesně řídit otáčky.

V rámci výběru měniče od Control techniques byla uvažována ještě zpětná vazba od enkodéru, ale nakonec byla tato možnost zavrhnuta. V nabídce zboží, firma nabízí řadu měničů s označením Unidrive M701, kde tento měnič má i výše zmíněnou možnost zpětné vazby. Měniče řady Unidrive M701 představují komplexní řídicí systém, pro přesné řízení asynchronních motorů v otevřené nebo uzavřené smyčce, dále servomotorů, motorů s permanentními magnety v otevřené nebo uzavřené smyčce. Přímá integrace s bezpečnostními systémy.[33]

Z technického hlediska je tento měnič o mnoho vyspělejší než zvolený měnič C300. Je však nutno podotknout, že měnič této řady by obsahoval velmi vyspělé technické funkce, které by nebyly zdaleka využity. Z ekonomického hlediska se cena samotných měničů bez dalšího příslušenství liší v řádu desetitisíců korun.

Jelikož není zapotřebí udržovat přesně konstantní kroutící moment a přesné polohování nástroje, bylo na základě konzultace s technickou podporou rozhodnuto pro tento měnič. Měnič C300 dokáže udržet nastavené otáčky motoru $\pm 10\%$ od otáček požadovaných.



a)



b)

Obr. 35) a) Frekvenční měnič C300 [31]
b) komunikační modul EtherCAT [32]

7.12 Lineární odměřování

Pro odměřování polohy se využívají snímače polohy, které se podílejí na výsledné kvalitě a přesnosti polohování celého stroje. Základní inkrement je charakteristický parametr při odměřování, což je jeho nejmenší rozlišitelná délková míra. Inkrement by měl být celé číslo, ale současné CNC systémy dokáží zpracovat i obecnou velikost inkrementu.[34]

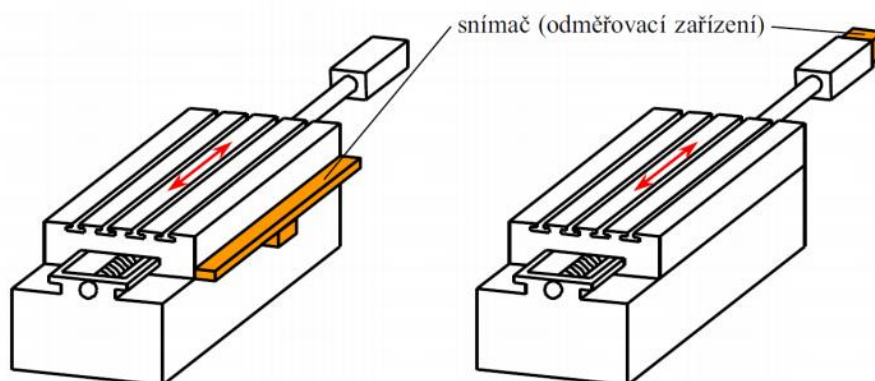
ODMĚŘOVÁNÍ POLOHY LZE ROZDĚLIT DO NĚKOLIKA SKUPIN:

- podle způsobu odměřování
- podle druhu odměřovacího signálu
- podle principu práce odměřovacího zařízení
- podle druhu získané informace

PŘÍMÉ A NEPŘÍMÉ ODMĚŘOVÁNÍ

Podle způsobu získání informace o poloze lze rozdělit odměřovací zařízení na, přímé a nepřímé. Přímé snímače snímají skutečnou polohu obráběcího stroje. Pohybující se část pohybové osy je spojena s pravitkem. Poloha je vyhodnocována jako relativní pohyb vzhledem ke snímací hlavě, uchycené na pevné části stroje. U přímého odměřování je obtížnější krytování a obvykle má vyšší přesnost měření oproti nepřímému odměřování.

V případě nepřímého odměřování se využívají rotační snímače polohy. Snímače polohy jsou přímo napojeny na konec kuličkového šroubu. Druhou možností nepřímého odměřování je odměřování z vestavěného AC servopohonu. Tento způsob odměřování je však velmi ovlivněn chybou stoupání šroubu, což je v tomto případě frézky velká nevýhoda. Výhodou tohoto odměřování je, že jsou snímače levnější než přímé a snadněji se krytují.[35]



Obr. 36) Vlevo = Přímé odměřování
Vpravo = Nepřímé odměřování [35]

Absolutní a inkrementální odměřování

U inkrementálního odměřování dostává řídicí systém informaci ve formě impulsů, které počítá od pevně stanovené polohy, referenční polohy. Po zapnutí stroje se nejprve musí najet na referenční body ve všech osách, aby se inicializoval souřadný systém, až potom je stroj připraven k práci.

Absolutní odměřování naopak poskytuje řídicímu systému okamžitě po zapnutí informaci o poloze os stroje vzhledem k souřadnému systému stroje. Tato vlastnost má významnou výhodu v tom, že se zkracuje čas přípravy stroje k obrábění a zejména u 5osých strojů umožňuje lépe opustit kolizní stavy okamžitě po zapnutí stroje, bez najíždění do referenčních bodů.[35]

Princip získávání informace

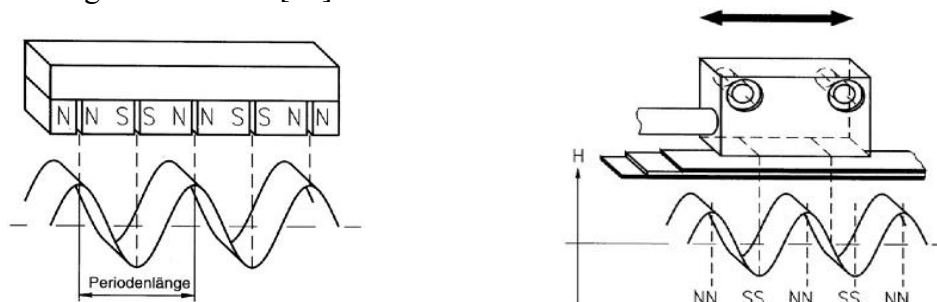
Odměřování můžeme dělit také na základě fyzikálního principu získávání informace o poloze. Jedná se zejména o odměřování indukční, magnetické a optické. Odměřovací systémy jsou jemná zařízení, citlivá na mechanická namáhání, vibrace, znečištění apod. Většinou jsou chráněny kryty proti poškození. Vhodné a dostatečně robustní upevnění zajišťuje, aby se na ně nepřenášely vibrace stroje. Významná je též ochrana proti znečištění otevřených systémů (lineárních snímačů polohy). Ta se zajišťuje přivedením čistého stlačeného vzduchu buď do tělesa snímače nebo jezdce. Proudící vzduch zabrání pronikání nečistot a kondenzaci par uvnitř snímače. Výsledná přesnost polohování os je též ovlivněna konstrukcí stroje, výrobními nepřesnostmi a nepřesnostmi samotných odměřovacích systémů.[35]

7.12.1 Magnetický princip

Magnetické lineární snímače fungují na principu detekce změny polarity magnetického pole permanentního magnetu (speciální magnetická páska) snímaného Hallovým senzorem

(snímací hlava), která se pohybuje nad páskou ve výšce několika milimetrů. Tím, že jde o bezkontaktní sledování magnetického pole, je celý tento systém velmi odolný proti znečištění, přesněji řečeno znečištění funkci prakticky neovlivňuje. Pokud snímač trvale snímá magnetický pásek, generuje se v něm střídavý impulsní nebo analogový elektrický signál. Snímač vyhodnocuje střídání magnetických pólů na pásku. Díky tomu zjišťuje relativní pohyb snímače vůči pásku.

To je ideální řešení pro strojírenské a těžké průmyslové prostředí, kde většinou o špinu nejrůznějšího původu není nouze. Navíc magnetický pásek lze i skrýt do nějakého nemagnetického profilu, tedy i například pod povrch z neferomagnetických materiálů, jako jsou hliník, mosaz a nemagnetické oceli. [36]

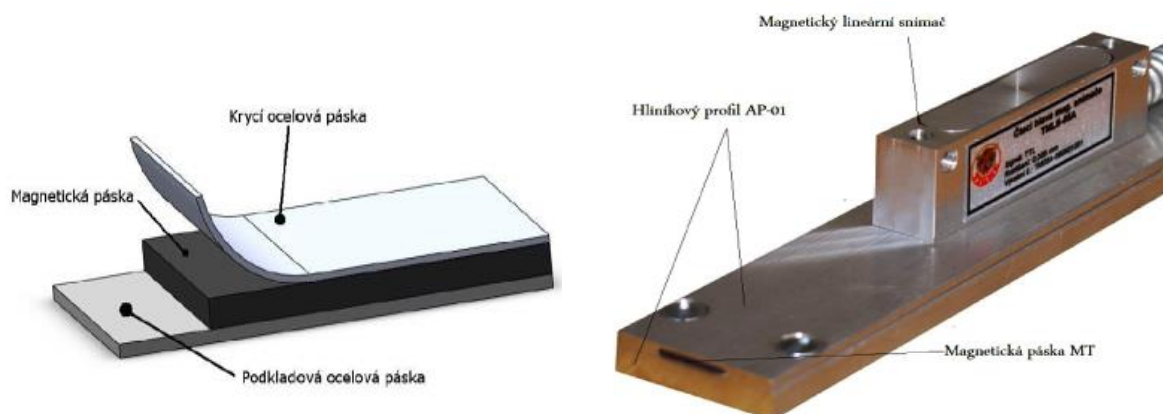


Obr. 37) Průběh magnetického odměřování [37]

Magnetické snímače TMLS

Magnetické snímače TMLS jsou vyráběny ve 3 různých verzích podle rozlišení a maximální možnou mezerou mezi magnetickou páskou a snímací hlavou

Uvedené snímače pak stíhají měřit při pohybu rychlostí až 1 m/s při pracovní teplotě okolí 0 až 85°C. Jejich elektrický výstup je v podobě 5V TTL signálu, který společně s 5 V napájecím vstupem sdílí 9pinový D-Sub konektor (podobný jako u RS-232 komunikace).[38]



Obr. 38) Vlevo = magnetická páska
Vpravo = čtecí hlava s ochranným profilem [38]

Výhodou tohoto řešení je snadná instalace (pokud je páska lepena na rovnou plochu) a velmi příznivá cena.

Nevýhodou je pak neexistující ochrana proti emulzím, které mohou způsobit odlepování pásy. V tomto případě je pak nutné použít například krycí hliníkový profil. Pro prostorovou orientaci jsou vybaveny i Z-referenčním signálem.

Všechny výše uvedené magnetické snímací hlavy jsou voděodolné a prachotěsné a tedy u nich není nutné se poškození prostředním obávat.[38]

V případě výběru snímače TMLS-05A-02 a magnetické pásy MT-02-02 není referenční bod na pásce, ale zajišťuje ho malý externí magnet na profilu AP-02. Při projetí čtecí hlavy-snímače TMLS, kolem výše zmíněného magnetu, vyšle snímač referenční impuls pro indikaci. Následující tabulce jsou uvedeny ceny odměřování.

**ceny jsou uvedeny bez DPH*

snímače TMLS-05A-0	2 495 Kč
magnetická páska MT-02-02	89 Kč / 100mm

Tab 9) Cena za magnetické odměřování [38]

7.12.2 Lineární magnetické pravítka

Pokud však ale nutně není zapotřebí referenční signál, pak je lepší použít všeobecně pro kovoobráběcí stroje, lineární magnetické pravítka. Bohužel u těchto pravítek nemá firma Jirka&spol zatím vyřešený referenční bod. Rozměry a montáž jsou kompatibilní s optickými pravítky Heidenhain. Snadná rychlá instalace spolu s rozlišením 0,005 a 0,001 mm. Taktéž disponuje výstupním signálem 5V TTL a 5V RS422. Výhodou těchto pravítek oproti předchozímu odměřování je ochrana magnetické pásy a snímací hlavy prostřednictvím jedné nebo dvou (volitelně) řad gumových manžet. [39]

Pro odměřování k frézce FNG 32 byly do návrhu použity tyto lineární magnetická pravítka. Při obrábění na stroji se dojde např. k obrobku, kde se odměřování tlačítkem vynuluje. Následně začne displej ukazovat hodnoty od nuly.

Požadovaná měřicí délka odměřování v případě osy X a Y je 670 mm, jelikož délka posuvu osy je 600 mm. V případě osy Z, která má délku posuvu 400 mm byla zvolena měřicí délka 470 mm. V obou případech byla volena o třídu vyšší měřicí délka, z důvodu montáže, nebo kdyby se pohyb osy nezastavil na koncovém spínači, aby nedošlo k poškození samotného pravítka.

**ceny jsou uvedeny bez DPH*

Lineární magnetické pravítka- rozlišení. 1µm	
TMLS-01S-02-670	6135 Kč
TMLS-01S-02-470	5499 Kč

Tab 10) Ceník pro Lineární magnetická pravítka [39]

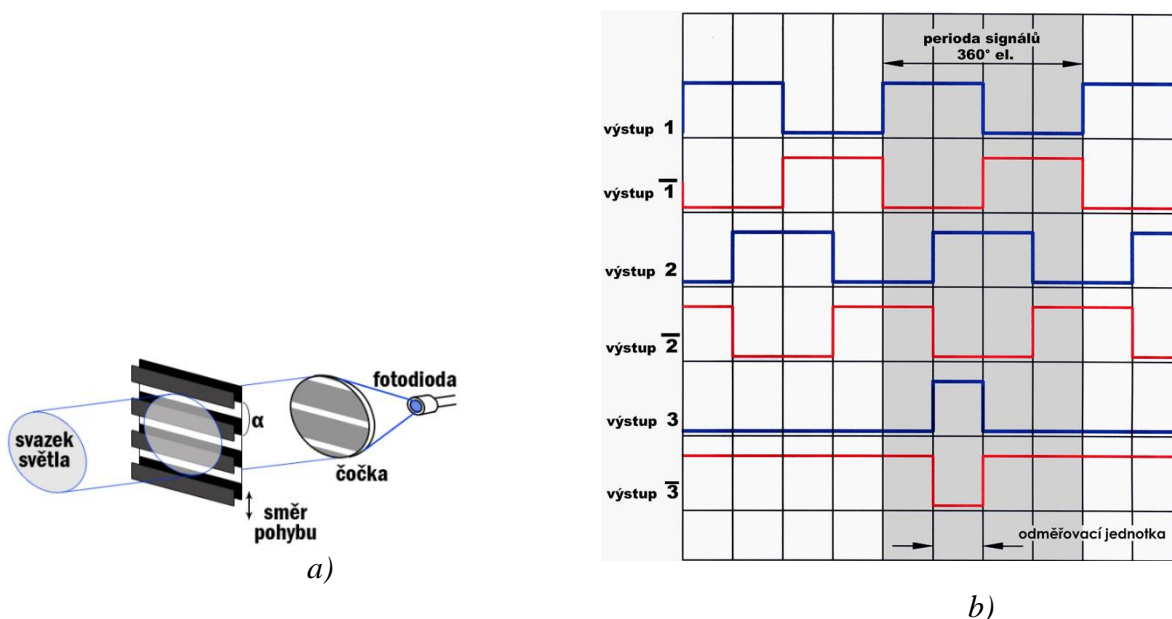
7.12.3 Optoelektronické snímače

Pro popis funkčnosti a vlastností této skupiny snímačů byla vybrána firma ESSA Praha, která se zabývá výrobou číslicového odměřování. Jejich sortiment obsahuje také lineární nebo rotační snímače. V případě lineárních snímačů se jedná o typ optoelektronických snímačů.

Lineární snímače převádí informace o lineárních změnách polohy na elektrické pulsy. Počet těchto pulsů odpovídá změně polohy, jejich frekvence rychlosti pohybu. Jsou určeny pro přesné odměřování ve velkém rozsahu odměřovacích délek od 50 mm do 29 500 mm.

Lineární snímače jsou složeny ze dvou částí, které se vůči sobě lineárně pohybují. Jednou částí je Al profil uvnitř s nalepeným skleněným pravítkem nebo je v Al profilu protažený nepřerušovaný kovový pásek. Druhou částí je snímací hlava s osvětlovacím systémem s diodou LED, vyhodnocovací elektronikou a kabelem. Vnitřní části lineárních snímačů jsou zakryté pružnými chlopněmi. Součástí lineárních jsou podpory pro každý spoj a podpory Al profilu na každých cca. 600 mm odměřované délky.[40]

Funkce: Typický optický inkrementální senzor snímá najednou 3 kanály A, B a C. Výstup kanálů A a B je impulzní signál (*obr.39b*). Kanály jsou vůči sobě posunuty mechanicky o $\alpha/4$ a výstupní signály jsou o stejnou hodnotu posunuty fázově elektricky (tzv. kvadrurní výstup). Fázový posun umožňuje detekci směru pohybu. Kanály A a B mají obvykle své komplementární protějšky A a B, jejichž snímáním je zajištěna vyšší odolnost vůči rušení. Antiparalelním zapojením posunutých snímacích fotodiód (viz. model senzoru) vzniká na výstupu signál blízký funkci sinus. Kanál C informuje o poloze referenční značky (v případě senzorů natočení 1x za otáčku). [41]



Obr. 39) a) schématické znázornění principu snímače [41]
b) průběh signálu [41]

Technické parametry jsou uvedeny v následující tabulce.

Technické parametry:

Poloha referenční značky	volitelná/ kódovaná
měř. rychlost dle odměřovací jednotky	0,25 až 1 m/s
zrychlení	10 m/s ²
napájecí napětí	5 V _{ss} ±5%
Napájecí proud	typicky 80 mA ±20%
izolační odpor	min. 20MΩ
druh krytí	IP54
Pracovní teplota	0°C až +40°C
pasivní odpor hlavy	< 5 N
hmotnost: hlava/ profil	0,1 kg/ 0,5 kg/1m
Výstupní signály:	LB/ RS422, 20mA
	TTL/ log 1 > 3,5V při ≤ 10mA
	TTL/ log 0 < 0,4V při ≤ 10mA
skladovací teplota	-10 °C až +50 °C

Tab 11) *Technické parametry optoelektronických snímačů* [40]

Parametry odměřování

odměřovací jednotka	0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5 μm	10 μm
délková přesnost	± 5 μm/m	± 10 μm/m

Tab 12) *Parametry odměřování* [40]

V níže uvedené (tabulce 12) je možné vidět jednotlivé ceny pro danou měřicí délku v závislosti na rozlišení.

měřicí délka /mm/	rozlišení		
	0,1 μm 0,2 μm 0,5 μm	sinus 1Všš 1 μm 2 μm 5 μm	10 μm
	cena /Kč/		
720	16 750,-	13 400,-	11 500,-
470	14 310,-	11 450,-	9 830,-

Tab 13) *Ceník optoelektronických snímačů* [40]

V uvedené ceně je obsažena cena kabelu délky 1 m s volným koncem, bez konektoru.

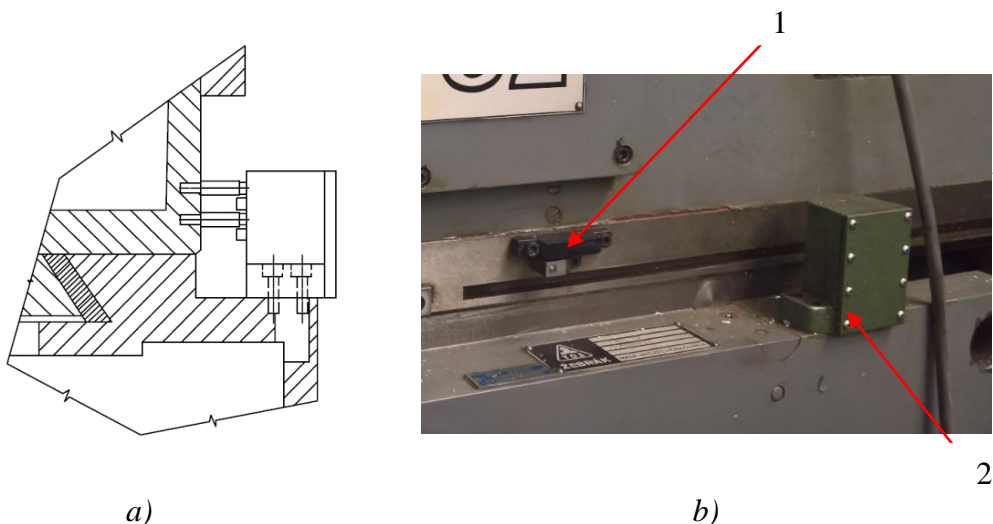
V případě dokoupení prodlužovacího kabelu s označením LifYCY 6x2x0,08 je jeho cena 130 Kč/m

7.13 Koncové spínače

V případě koncových spínačů bude využito momentálních spínačů, které jsou namontovány pevně na stroji. Na každé ose se nachází příslušné pouzdro, kde jsou umístěny 4 mikrospínače. Toto samotné pouzdro se nepohybuje. Na níže uvedeném obrázku je vyobrazen samotný spínač. Tento spínač je možno zapojit jako spínací nebo rozpínací. Ovládací kolík spínače je připevněn ke kovovému kolíku, který je v blízkosti pohybující se osy a provádí následné sepnutí mikrospínače v případě najetí na dané nájezdy. Na pohybující se ose jsou připevněny nájezdy, které jsou na (obr.39).



Obr. 40) Použitý mikrospínač [42]



a)

b)

Obr. 41) a) pohled na koncové spínače zepředu [10]

b) (1) = nárazníková koncová poloha

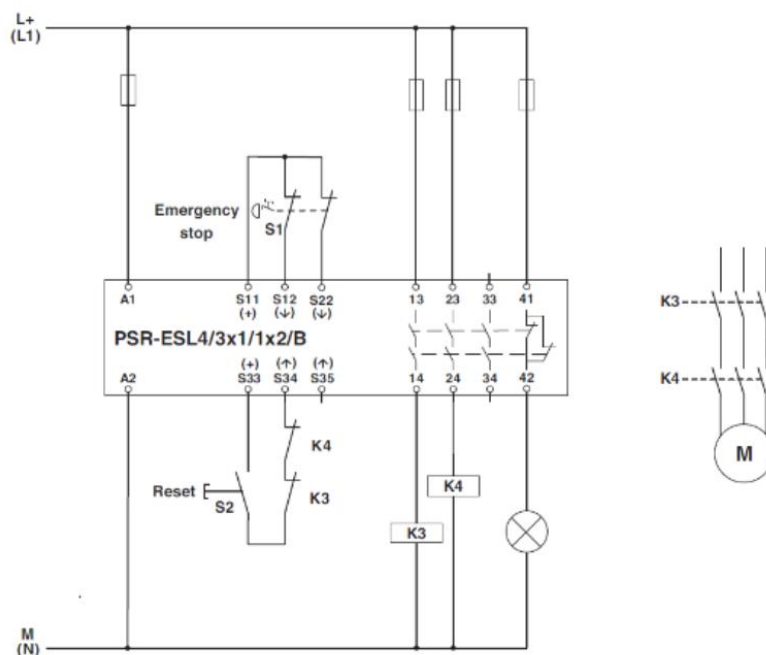
(2) = pouzdro se 4 mikrospínači

Jelikož jsou pro každou osu zapojeny 4 mikrospínače, kdy při prvním najetí na nájezd se zabrání použití rychloposuvu a vyjmutí nástroje. Sepnutím druhého mikrospínače se zastaví posuv stroje. Spolu s ním se sepne třetí mikrospínač, který je propojen následně s ostatními osami, aby bylo zabráněno posuvu i v těchto osách. Poslední mikrospínač je brán jako havarijní.

V novém zapojení budou využity pouze dva mikrospínače. Koncový spínač pro omezení funkcí a poté havarijní. Při sepnutí prvního spínače bude zastaven posuv ve všech osách, zařazení rychloposuvu a vyjmutí nástroje. Vzájemné propojení jednotlivých funkcí je provedeno v programu pro PLC, který je k této práci přiložen. Při najetí na havarijní koncový spínač bude pohon odpojen.

7.14 Bezpečnostní relé

V rámci bezpečnosti celého stroje je velmi důležité brát ohled na havarijní stavy stroje. Pro návrh zapojení byly použity dvě bezpečnostní relé od společnosti Phoenix Contact s označením PSR-SCP- 24UC/ESL4/3X1/1X2/B. Jedná se o dvoukanálové bezpečnostní zastavení s manuálním resetem. První relé je zapojeno pro Pomocné pohony stroje (mazání, chlazení, apod.). Druhé relé je použito pro pohon vřetene a os. Obě tyto relé, jsou navzájem propojeny mezi sebou a předávají informaci o stavu do PLC. Popis funkce a doporučené zapojení výrobcem je uvedeno na (obr.42).[43]



Obr. 42) Dvoukanálové bezpečnostní zapojení [43]

Na svorky A1, A2 je připojeno napájecí napětí 24V, kde se jedná o cívku relé. Dále je zde použito tlačítko Emergency stop. Tlačítko Reset funguje jako startovací kontakt. Na svorky S11, S12, S22 je připojeno tlačítko Emergency stop. Stisknutím tlačítka Reset dojde k aktivaci spínacích kontaktů relé (svorky 13 a 14, 23 a 24). Tím dojde k sepnutí cívek stykačů a jejich silových kontaktů K3 a K4. V případě, že je stisknuto tlačítko Emergency stop je motor zastaven (rozepnutí spínacích kontaktů relé=svorky 13 a 14) Při vrácení tlačítka do své původní polohy nedojde k opětovnému roztočení motoru. Je zapotřebí k jeho roztočení stisknout tlačítko Reset. Tomuto zapojení se také říká „Zapojení s dominantním resetem“.

Zapojení také splňuje bezpečnostní normu ČSN ISO EN 16090-1, kde je uvedeno, že v případě výpadku elektrické energie a následnému připojení opět k síti, nesmí dojít k samovolnému zapnutí stroje. Stroj musí být obsluhou aktivován.[44]

8 TVORBA PROGRAMU

8.1 Úvod a seznámení s prostředím

Pro tvorbu programu značky Beckhoff se využívá programovacího prostředí TwinCAT.

Při vygenerování nového projektu se automaticky vytvoří POU (Program Organization Unit) s názvem MAIN. POU slouží k organizaci jednotlivých podprogramů. Skládá se z deklarační a implementační části. V deklarační části jsou deklarovány jednotlivé proměnné funkční bloky atd. V implementační části je sestavován samotný program, funkce nebo funkční blok. Aby byla POU aktivována, musí se na ní odkazovat v MAIN.

Jednotlivé POU mohou být psány libovolným jazykem podle normy IEC 61131-3 (ST, LD, FBD). Norma zahrnuje i jazyk IL, který je na ústupu a aktuálně s ním nejde POU v prostředí TwinCAT založit.

8.1.1 Rozlišujeme 3 druhy POU:

Program

Program po spuštění vrací jednu nebo více hodnot. Poté co je program proveden jsou hodnoty uchovány, dokud program není spuštěn a proveden znovu. Funkce na rozdíl od programu a funkčního bloku nemůže vyvolat program.

Funkce

Funkce jsou taková POU, jejichž výstupem je pouze jedna datová hodnota. Tato hodnota může být také matice. Naopak počet vstupů do funkce není omezen. Na rozdíl od programu a funkčního bloku je výstup z funkce při zachování stejných vstupů vždy stejný. Je to způsobeno tím, že funkce nemá žádné stavové informace neboli neukládá hodnoty svých proměnných do dalšího běhu.

Funkční blok

Funkční blok má libovolný počet vstupů a výstupů. Na rozdíl od funkce v sobě uchovává stavové informace, což znamená, že interní proměnné zůstávají zachovány do následujícího zavolání funkčního bloku. To má za následek, že volání stejného funkčního bloku se stejnými vstupy nezaručuje vždy stejné výstupy. Funkční blok je vždy volán instancí, která představuje jeho kopii. Každá tato instance musí být deklarována v podobě proměnné.[45]

8.1.2 Globální seznam proměnných

Globální seznam proměnných (GVL) se používá k deklaraci globální proměnné. Pokud je GVL umístěn v globálním uzlu katalogu softwaru > Proměnné > Globální proměnné nebo ve stromu aplikací, budou proměnné k dispozici pro celý projekt. [46]

V této diplomové práci byly globální proměnné zejména použity pro deklaraci vstupů a výstupů. Aby bylo následně možné namapování proměnných na hardware používá se syntaxe, která je uvedena na (obr.43). Na tomto obrázku je možné vidět deklaraci digitálních vstupů od koncových spínačů jednotlivých os pro namapování hardware. Pokud by nebyla uvedena syntaxe **AT %Q***, potom by namapování proměnné nebylo možné.

```
// Koncové spínače  
bKonX AT %Q* : BOOL;  
bKonY AT %Q* : BOOL;  
bKonZ AT %Q* : BOOL;
```

Obr. 43) Příklad deklarace globální proměnné jako vstupu

8.1.3 Programovací jazyky

Norma IEC 61131-3, neboli CoDeSys (Control Development System), je vývojové prostředí definující programovací jazyky pro programovatelné automaty (PLC). Tato norma představuje univerzální vývojové prostředí pro aplikační programy řídicích systémů PLC bez specifických požadavků na použitý hardware. Výsledkem je vytvoření jednotné programové a datové struktury, která nezávisí na výrobci PLC.

V následujících odstavcích budou popsány jednotlivé jazyky

Structured Text (ST)

Function Block Diagram (FBD)

Ladder diagram (LD)

8.1.4 Použité knihovny:

Prostředí TwinCAT obsahuje základní knihovny po založení nového projektu. Následně je možné si tyto knihovny rozšířit. Popis všech knihoven je možné najít na stránkách společnosti Beckhoff, kde odkaz je uveden v rámci použitých zdrojů [17]. Tyto knihovny je možné přidat přímo v programovacím prostředí: PLC_project -> References -> Add library => výběr potřebné knihovny.

Tc2 Standard = tato standardní knihovna zahrnuje všechny funkční bloky, které jsou definovány normou IEC61131-3. Tyto bloky je možné rozřadit do skupin:

- ⇒ bistabilní funkční bloky
- ⇒ spouštěcí funkční bloky
- ⇒ čítače
- ⇒ časovače
- ⇒ řetězové funkce

Tc2_MC2 = knihovna Motion control PLC obsahuje funkční bloky pro programování aplikací stroje. V této knihovně je možné využít celou řadu POU pro nastavení Home pozice, pojezd o určitý krok v manuálním režimu, pohyb z bodu do bodu (absolutně, inkrementálně nebo relativně), resetování, zastavení, čtení polohy a rychlosti

8.2 Tvorba vlastního programu

Jak již bylo zmíněno, většina proměnných byla vytvořena jako globální proměnná, aby ji bylo možné využívat i v jiných částech programu. Ty proměnné, které složí pouze k mezikrokům v dílčím programu, byly deklarovány pouze v příslušné části programu. Veškeré důležité proměnné jsou popsány komentářem.

Jednotlivé podprogramy jsou označeny P_ + název programu. Např. P_Power, P_Jog atd... Pokud se jedná o funkční blok, je označen jako fb. Např. fbPowerAxis => toto označení určuje, že se jedná o funkční blok a slouží k aktivaci osy. V případě jednotlivých proměnných je myšlenka stejná. První písmeno proměnné značí její datový typ a následně je uveden popis. Např. bPower.

8.2.1 Main

Jedná se o hlavní programovanou smyčku. Ta je stále opakovatelně spouštěna v daném cyklu. Z této smyčky jsou spouštěny jednotlivé podprogramy a funkční bloky, které mají přiřazenou funkci pro PLC, případně pro stroj.

8.2.2 Aktivace vřetena a pohybu os

Aktivaci obou pohonů zajišťuje podprogram s názvem P_Power (pohon os) a P_PowerVreteno (pohon vřetene). Pro zastavení os a vřetene je použit funkční blok MC_Stop, který se nachází v jiném programu.

Aktivace pohonu a vřetene je nastavena na hodnotu TRUE v případě stisknutí tlačítka Start. Jakmile dojde k připojení na napájecí napětí, je tento funkční blok aktivován. Aby nedošlo k samovolnému připojení na napájecí napětí při výpadku proudu, tak tuto možnost zajišťuje bezpečnostní relé. Po stisknutí startovacího tlačítka na panelu jsou aktivovány pohony. V rámci tohoto bloku MC_Power lze také nastavit Override. Tato hodnota je nastavována pomocí potenciometru umístěném na ovládacím panelu. Hodnota override je procentuální vyjádření skutečné rychlosti posuvů, či vřetene. Za normálních okolností je hodnota override nastavena na 100%. Minimální hodnota je 0%.

8.2.3 Zastavení vřetena a pohybu os

Zastavení vřetena a pohybů os se provádí pomocí programu P_Stop. V tomto programu je zastavení samotných motorů a také případné zastavení, při najetí na koncové spínače. Zastavení je realizováno pomocí funkčního bloku MC_Stop, kdy po zmáčknutí příslušného tlačítka Stop s proměnnou gvl.bStopVreteno nebo gvl.bStopOsy je osa zastavena. Osa je také zastavena, pokud je alespoň jeden z koncových spínačů aktivní.

V rámci programu se také nachází tlačítko Total stop, které deaktivuje veškeré pohony a odpojí další podpůrné funkce stroje.

Na ovládacím panelu stroje budou umístěny celkem 3 tlačítka Stop. 2 z těchto tlačítek budou zastavovat pohyb osy a otáčení vřetene. Následně bude na panelu umístěno tlačítko Total stop, kdy po stisknutí tohoto tlačítka dojde k vypnutí stroje. Tlačítko Total stop bude spadat do kategorie 0. Kategorie bezpečnosti byla určena na základě srovnání jednotlivých požadavků normy ČSN EN ISO 16090-1.[43]

8.2.4 Digitální výstupy pro pohony

V programu P_DO bylo pomocí jazyka LD určeno ovládání digitálních výstupů pro pomocné pohony. Tyto pohony zajišťují správnou funkci stroje, jako je např. mazání stroje a konsoly, zapínání chladicí kapaliny apod.

8.2.5 Manuální pohyb stroje

Pohybem os se zabývá program s názvem P_Jog. Aby bylo možné otáčet motorem v daném směru a s určitým inkrementem, bylo zapotřebí použití funkčního bloku MC_Jog.

Na začátku programu byla vytvořena podmínka pro volbu obsluhy, zda chce pohybovat osou po vybraném kroku anebo plynule. Nejprve obsluha vybere spínač Krok a následně vybere nadefinovaný krok. Stroj tak zjistí, že se bude pohybovat uživatelem zvoleným krokem. Pomocí tlačítek ve vizualizaci + a – je možné pohybovat osou. Pokud již nechce obsluha pojíždět krokováním, vypne spínač Krok a stroj se bude pohybovat plynule. Na konci programu je dále uvedena volba jetí rychloposuvem. Ten se aktivuje po stisknutí spínače Rychloposuv (obr.44).

8.2.6 Absolutní a relativní pohyb

Další vytvořený program nese název P_InAbsPos. Použitím funkčního bloku MC_MoveAbsolute v tomto programu je možné danou osou pohybovat v absolutních souřadnicích. Dále je do programu také přidán funkční blok MC_MoveAdditive, který umožňuje aditivní neboli přírůstkový pohyb. Obsluha stroje tedy pomocí tlačítka I/A (viz vizualizace) přepíná pomocí proměnné bAbsAdditX. To určuje, zda se chce ve vybrané ose pohybovat absolutně nebo přírůstkově.

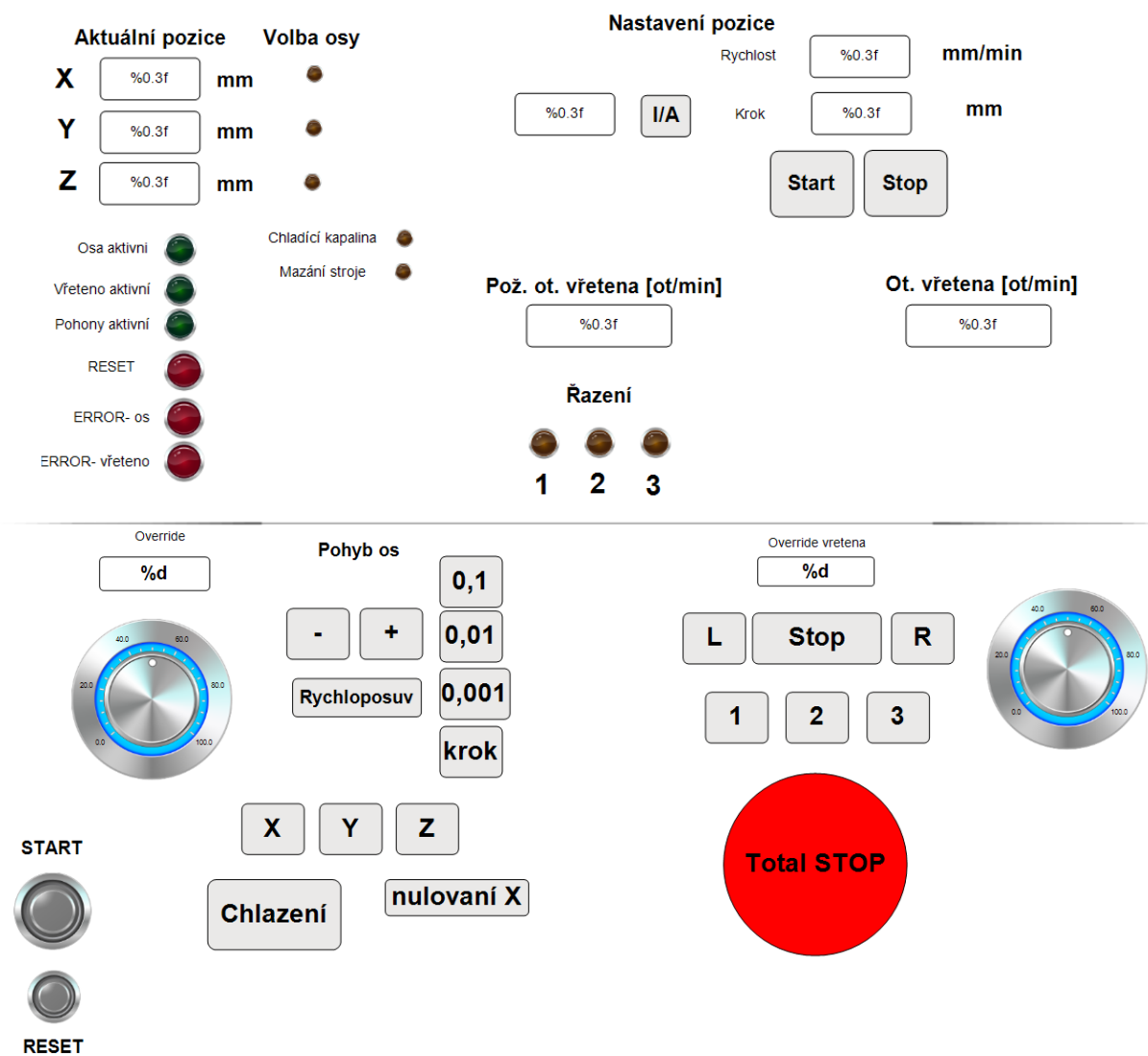
Vizualizace

Pokud se chce obsluha pohybovat v absolutních souřadnicích napíše do zvoleného okna požadovanou pozici k příslušné ose a klikne na spínač I/A. Tím se vybere absolutní pohyb. Následně zvolí rychlost posuvu a krok. Dále už stačí kliknout na tlačítko Start. V případě zastavení, klikne obsluha na tlačítko Stop. Tím dojde k zastavení osy.

Pro případ absolutního odměřování, by bylo zapotřebí využít bod k referencování os. Jako Home pozice by bylo možné využít jeden z momentálních koncových spínačů, které v novém zapojení nebudou připojeny. Tato Home pozice spolu s absolutním pohybem by mohla být do programu zahrnuta jako možné vylepšení.

8.2.7 Nastavení pozice

Stroj bude převážně využíván tím způsobem, že obsluha najede nástrojem k obrobku a vynuluje si aktuální pozici. K tomu bylo využito funkčního bloku MC_SetPosition. V návrhu programu bylo nastavování nulové pozice provedeno pouze pro osu X, aby bylo možné provádět simulaci, jelikož bude použit jen jeden motor pro pohon os. V případě realizace by se celé nulování muselo upravit. Aktuální poloha bude zobrazována z přímého odměřování.



Obr. 44) Vizualizace ovládání

8.3 Oživení stroje a odladění programu

V rámci této diplomové práce nedošlo k osazení novým hardwarem a nahrání softwaru. Bylo tedy vytvořeno elektrické schéma zapojení stroje a následné navržení řídicího systému.

Pro připojení hardwaru s PLC, je zapotřebí provést naskenování. To se provádí tlačítkem Scan. Program si automaticky nalezne a rozpozná připojená zařízení. Jediné co musí být provedeno, je přiřazení jednotlivých vstupů a výstupů.

8.3.1 I/O

Pro přiřazení jednotlivých vstupů je vycházeno z elektrického schématu. V elektrickém schématu, které je přiloženo jako příloha, jsou popsány jednotlivé vstupy a výstupy. Potom tedy stačí přiřadit patřičnou proměnnou k danému vstupu či výstupu.

Aby bylo možné přiřadit proměnnou např. jako vstup. Je zapotřebí ji definovat ve správné syntaxi. Příklad je uveden na (obr.46).

```
// Pohyb OS JOG
bSmerOsKlad AT %Q* : BOOL;      // kladný směr pohybu osy
bSmerOsZap AT %Q* : BOOL;      // záporný směr pohybu osy
bStopOsy AT %Q* : BOOL;        // při pozicování - zastavit
bRychloposuv AT %Q* : BOOL;    // volba rychloposuvu
```

Obr. 46) Deklarace pro vstupy/ výstupy PLC

9 ZÁVĚR

Momentální stav frézky je velmi zastaralý a některé části nefunkční. Jelikož není k dispozici žádný manuál či schéma zapojení, byl proveden průzkum momentálního stavu. Po neúspěšném zjišťování existence dokumentace, byla přibližná dokumentace provedena přímo na stroji. Jednalo se zejména o elektrické zapojení a ovládání stroje.

V první části byla provedena rešerše o rozdělení frézek. Následoval popis momentálního stavu. Popis mechanické části vychází z popisu frézky FNGJ 32, která je z mechanického hlediska velmi podobná frézce FNG 32. V elektrické části již jsou značné rozdíly, tedy nebylo možné vycházet ze zapojení FNGJ 32.

Ve druhé části práce následoval návrh možných variant pro řešení. Byly rozebrány jednotlivé varianty. Možné návrhy variant byly konzultovány s obsluhou ve školní dílně. V rámci diskuze nad momentálním stavem byly obsluhou uvedeny nedostatky stroje, na které je možné reagovat.

Dále bylo provedeno technicko-ekonomické zhodnocení jednotlivých variant a vybrání té nejvhodnější. Byla vybrána varianta řešení s jedním pohonem pro všechny 3 osy, z důvodu minimálního zásahu do konstrukce stroje.

V této části následovalo také dimenzování pohonu pro vřeteno a pro pohon os. V případě pohonu pro vřeteno byl pohon vybrán na základě používaného nástroje ve školní dílně a výpočtem řezných podmínek a následně požadovaného kroutícího momentu a výkonu. V případě pohonu os, který není možné jednoznačně určit z důvodu vnitřních mechanických převodů bylo použito srovnání obdobných strojů. Srovnání proběhlo s frézou FNG 32 (TOS Olomouc) a frézou FNGJ 32. Na základě těchto parametrů byly vybrány pohony.

Následovalo vybrání potřebných komponent a ekonomické zhodnocení, zda volit značku Beckhoff anebo Siemens. Značka Beckhoff byla vybrána i přes vyšší cenu na základě zkušeností s programováním této značky, spolupráce se školou. Některé I/O rozšiřující karty jsou k dispozici ve škole.

V třetí části práce bylo vytvořeno elektrické schéma zapojení frézky pomocí programu EPLAN s konkrétně, vybranými komponentami. Každá komponenta má uvedené své objednávací číslo. Kompletní elektro dokumentaci je možné najít v přílohách práce. Postup návrhu schémat nebyl v práci nijak popsán, jelikož se jedná zejména o práci s katalogy komponent a zapojování dle doporučení výrobcem. Dimenzování jističů a kabeláže bylo prováděno podle doporučení výrobce.

Návrh řízení frézky byl vytvořen v programu TwinCAT. K ověření funkčnosti byla vytvořena jednoduchá a přehledná vizualizace. Jedná se o návrh, takže je zřejmé, že program obsahuje nedostatky, které je zapotřebí při oživení stroje odladit.

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KOČMAN, Karel. Technologické procesy obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [2] Základní způsoby frézování : ELUC [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://eluc.krolomoucky.cz/verejne/lekce/1226>
- [3] Hlavní části konzolových frézek: Strojírenství- frézování [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <http://strojirenstvi-frezovani.blogspot.com/2011/02/911-hlavni-casti-konzolovych-frezek.html>
- [4] Základy frézování: SlidePlayer: [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2597287/>
- [5] Strojní obrábění- frézování: SlidePlayer [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2597287/>
- [6] Frézování ozubení: Alba precision [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: https://slideplayer.cz/slide/2597287/ISBN_80-214-196-2_kocman_prokop_techologie_obrabeni
- [7] Manual na frézku FNG 40 CNC: CNC Fórum [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://forum.strojirenstvi.cz/viewtopic.php?t=10409>
- [8] Manual na frézku FNG 32: TOS- Olomouc [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://www.tos-olomouc.cz/files/oc/produktove-informace/fng32.pdf>
- [9] Manuál pro FNGJ 32: Stachura [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <http://stachura.cz/manual.htm>
- [10] Popis FNG 32: i&TS.sro [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <http://www.iats.cz/iats/clanek.asp?id=59>
- [11] Doporučené řezné podmínky: tumlikovo [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/doporucene-rezne-podminky-pro-frezy-hss/>
- [12] Nástrčná fréza: Mark agro [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://eshop.markagro.cz/frezy-nastrcne-a-modulove/2018-freza-nastrcna-valcova-celni-s-drazkou-din-1880-n-hss-80mm-fenes.html>
- [13] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
- [14] Řezné podmínky vrtáku: Sandvik Coromant [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/pages/toolguide.aspx>
- [15] Siemens komponenty: Jork spol.s.r.o [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://www.jork.shop/>
- [16] BECKHOFF Information system: Germany: Beckhoff Automation GmbH & Co [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://infosys.beckhoff.com/>
- [17] CP6900, CP6906: Germany: Beckhoff Automation GmbH & Co [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://www.beckhoff.com/cs-cz/products/ipc/control-panels/cp6xxx-cp7xxx-single-touch-control-panels/cp6900-cp6906.html>
- [18] EK1100 | EtherCAT Coupler: Germany: Beckhoff Automation GmbH & Co [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://www.beckhoff.com/cs-cz/products/i-o/ethercat-terminals/ek1xxx-bk1xx0-ethercat-coupler/ek1100.html>

- [19] EL1008 | 8-channel digital input terminal: Germany: Beckhoff Automation GmbH & Co [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://www.beckhoff.com/cs-cz/products/i-o/ethercat-terminals/el1xxx-digital-input/el1008.html>
- [20] EL2008 | 8-channel digital output terminal: Germany: Beckhoff Automation GmbH & Co [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://www.beckhoff.com/cs-cz/products/i-o/ethercat-terminals/el2xxx-digital-output/el2008.html>
- [21] EL3002 | 2-channel analog input terminal: Germany: Beckhoff Automation GmbH & Co [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://www.beckhoff.com/cs-cz/products/i-o/ethercat-terminals/el3xxx-analog-input/el3002.html>
- [22] EL5101-0090 | Incremental encoder: Germany: Beckhoff Automation GmbH & Co [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://www.beckhoff.com/cs-cz/products/i-o/ethercat-terminals/el5xxx-position-measurement/>
- [23] Servomotory řady TGN: TG drives [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://www.tgdrives.cz/servomotory/servomotory-rady-tgn/>
- [24] KONSTRUKČNÍ NÁVRH PORTÁLOVÉ CNC FRÉZKY S POSUVNÝM STOLEM, 2017. Brno. Diplomová práce. Vysoké učení technické- Fakulta strojního inženýrství.
- [25] AM8052-wFyz | Servomotor: Beckhoff Automation GmbH & Co [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.beckhoff.com/cs-cz/products/motion/rotary-servomotors/am8000-servomotors/am8052-wfyz.html>
- [26] 1HU3101-0AC01-0ZZ9-Z Z:A31 167V: RGB AUTOMATYKA [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.rgbautomatyka.pl/en/1hu3101-0ac01-0zz9-z-z-a31-167v-2000-min-10a-1-49kw-servomotor-siemens-id10984.html>
- [27] AX5106 | Digital Compact Servo Drives: Beckhoff Automation GmbH & Co [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.beckhoff.com/cs-cz/products/motion/servo-drives/ax5000-digital-compact-servo-drives/ax5106.html>
- [28] AX5801 | TwinSAFE drive: Beckhoff Automation GmbH & Co [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.beckhoff.com/cs-cz/products/automation/twinsafe/twinsafe-hardware/ax5801.html>
- [29] Elektromotor Simotics GP: KDRIVES [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.elektromotory.cz/goods/index/id/1802>
- [30] Comander C300: CONTROL TECHNIQUES [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.pohony-menice.cz/c300>
- [31] SI-EtherCAT: CONTROL TECHNIQUES [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.pohony-menice.cz/si-ethercat>
- [32] Měnič M701: CONTROL TECHNIQUES [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.pohony-menice.cz/si-ethercat>
- [33] Odměřování lineární polohy u obráběcích strojů: AUTOMA [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/odmerovani-linearni-polohy-u-obrabecich-stroju-2014_04_52629_7896/
- [34] Elektrické pohony a servomechanismy: Technická univerzita v Liberci [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <http://www.ksa.tul.cz/getFile/id:3672>
- [35] Měření magnetického pole: ATMILAB [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <http://www.ksa.tul.cz/getFile/id:3672>
- [36] Měření polohy u servopohonů velkých zdvihů: VŠB- Ostrava [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <http://akce.fs.vsb.cz/1999/asr99/Proceedings/papers/57/57.htm>

- [37] Snímač TMLS-05A-02: Jirka& spol. [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.odmerovani.cz/product/magneticky-snimac-tmls-05a-02>
- [38] Lineární magnetické pravítko: Jirka& spol. [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.odmerovani.cz/product/linearni-magneticke-pravitko-1>
- [39] Lineární snímače: ESSA-Praha [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.essapraha.cz/linearni-snimace-technicky-popis>
- [40] Optický inkrementální senzor: Senzory [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <http://senzory.aspone.cz/ois.htm>
- [41] Mikrospínač: VP centrum elektronika [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.vpcentrum.eu/mikrospinac-on-on-1pol-250v-6a-s-packou-cherry-dbl>
- [42] Bezpečnostní relé: PHOENIX CONTACT [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.phoenixcontact.com/online/portal/cz?uri=pxc-oc-itemdetail;pid=2981059&library=czcs&tab=1>
- [43] ČSN EN ISO 16090-1, 2019. Bezpečnost obráběcích strojů - Obráběcí centra, frézky, postupové stroje - Část 1: Bezpečnostní požadavky.
- [44] Modernizace řídicího CNC systému frézky EMCO, 2020. Brno. Diplomová práce. Vysoké učení technické- Fakulta strojního inženýrství.
- [45] Global Variable List: Schneider Electric [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: https://product-help.schneider-electric.com/Machine%20Expert/V1.1/en/SoMProg/SoMProg/Program_Components/Program_Components-25.htm

11 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

11.1 Seznam tabulek

TAB 1) TECHNICKÉ PARAMETRY [9,10]	31
TAB 2) ŘEZNÉ PODMÍNKY PRO ČELNÍ FRÉZOVÁNÍ [12,13]	35
TAB 3) ŘEZNÉ PODMÍNKY PRO VRTÁNÍ [15]	36
TAB 4) SHRUTÍ VÝSLEDNÝCH PARAMETRŮ	37
TAB 5) PŘEHLED PŘEVODOVÝCH POMĚRŮ NA VŘETENU	38
TAB 6) VYBRANÉ KOMPONENTY ZNAČKY SIEMENS [16]	39
TAB 7) VYBRANÉ KOMPONENTY ZNAČKY BECKHOFF [17]	40
TAB 8) POHON FRÉZKY FNGJ 32 [27]	48
TAB 9) CENA ZA MAGNETICKÉ ODMĚŘOVÁNÍ [38]	56
TAB 10) CENÍK PRO LINEÁRNÍ MAGNETICKÁ PRAVÍTKA [39]	56
TAB 11) TECHNICKÉ PARAMETRY OPTOELEKTRONICKÝCH SNÍMAČŮ [40] 58	
TAB 12) PARAMETRY ODMĚŘOVÁNÍ [40]	58
TAB 13) CENÍK OPTOELEKTRONICKÝCH SNÍMAČŮ [40]	58

11.2 Seznam obrázků

OBR. 1) FRÉZOVÁNÍ ČELEM FRÉZY [2]	15
OBR. 2) FRÉZOVÁNÍ OBVODEM VÁLCOVÉ FRÉZY [2]	15
OBR. 3) SCHÉMA ROZDĚLENÍ FRÉZEK [3]	16
OBR. 4) SVISLÁ KONZOLOVÁ FRÉZKA [4]	17
18	
OBR. 5) STOLOVÁ FRÉZKA [5]	18
OBR. 6) ROVINNÁ FRÉZKA- POPIS HLAVNÍCH ČÁSTÍ [6]	18
OBR. 7) SPECIÁLNÍ FRÉZKA- ODVALOVACÍ FRÉZA- OZUBENÍ [7]	19
OBR. 8) PROGRAMOVÉ ŘÍZENÁ FRÉZKA FNG 40 CNC [8]	19
OBR. 9) MODERNÍ FRÉZKA FNG 32 [9]	20
OBR. 10) SCHÉMATICKÉ ZNÁZORNĚNÍ FRÉZKY FNG 32 [10]	21
OBR. 11) VERITKÁLNÍ HLAVA S VÝSUVNOU PINOLOU	22
OBR. 12) KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ PŘEPÍNÁNÍ MANUÁLNÍHO/ STROJNÍHO REŽIMU [10]	23
OBR. 13) PŘESTAVITELNÝ UKAZATEL S ODMĚŘOVACÍM PRAVÍTKEM.	23

OBR. 14) MAZÁNÍ STROJE [10]	24
OBR. 15) MAZÁNÍ KONSOLY [10]	24
OBR. 16) SVISLÁ FRÉZOVACÍ HLAVA [10]	25
OBR. 17) VÝMĚNA NÁSTROJE	25
OBR. 18) SCHÉMA PŘÍVODU PROCESNÍ KAPALINY [10]	26
OBR. 19) OVLÁDACÍ PANEL- POPISKY	27
OBR. 20) ZAPOJENÍ ROZVADĚČE ČÁST 1	29
OBR. 21) ZAPOJENÍ ROZVADĚČE ČÁST 2	30
OBR. 22) SCHÉMA POHONU OS A VŘETENA [10]	38
OBR. 23) POHLED NA OVLÁDACÍ PANEL [18]	42
OBR. 24) PANEL CP6606- 0001- 0020 [18]	42
OBR. 25) ETHERCAT COUPLER EK1100 [19]	43
OBR. 26) KARTA DIGITÁLNÍCH VSTUPŮ EL1008 [20]	44
OBR. 27) KARTA DIGITÁLNÍCH VÝSTUPŮ EL2008 [21]	44
OBR. 28) KARTA DVOUKANÁLOVÉHO ANALOGOVÉHO VSTUPU [22]	45
OBR. 29) KARTA PRO INKREMENTÁLNÍ ENKODÉR EL5101 [23]	46
OBR. 30) SERVOPOHON [24]	46
OBR. 31) MOMENTOVÁ CHARAKTERISTIKA SERVOMOTORU [26]	48
OBR. 32) ZAPOJENÍ SERVOMĚNIČE AX510 SPOLU SE SERVOMOTOREM	50
OBR. 33) NAPÁJECÍ ZDROJ [17]	50
OBR. 34) ASYNCHRONNÍ MOTOR SIEMENS [30]	51
OBR. 35) A) FREKVENČNÍ MĚNIČ C300 [31] B) KOMUNIKAČNÍ MODUL ETHERCAT [32]	53
OBR. 36) VLEVO = PŘÍMÉ ODMĚŘOVÁNÍ VPRAVO = NEPŘÍMÉ ODMĚŘOVÁNÍ [35]	54
OBR. 37) PRŮBĚH MAGNETICKÉHO ODMĚŘOVÁNÍ [37]	55
OBR. 38) VLEVO = MAGNETICKÁ PÁSKA VPRAVO = ČTECÍ HLAVA S OCHRANNÝM PROFILEM [38]	55
OBR. 39) A) SCHÉMATICKÉ ZNÁZORNĚNÍ PRINCIPU SNÍMAČE [41] B) PRŮBĚH SIGNÁLU [41]	57
OBR. 40) POUŽITÝ MIKROSPÍNAČ [42]	59
OBR. 41) A) POHLED NA KONCOVÉ SPÍNAČE ZEPŘEDU [10] B) (1) = NARÁŽKA KONCOVÉ POLOHY (2) = POUZDRO SE 4 MIKROSPÍNAČI	59
OBR. 42) DVOUKANÁLOVÉ BEZPEČNOSTNÍ ZAPOJENÍ [43]	60
OBR. 43) PŘÍKLAD DEKLARACE GLOVÁLNÍ PROMĚNNÉ JAKO VSTUPU	62
OBR. 44) VIZUALIZACE OVLÁDÁNÍ	66

OBR. 46) DEKLARACE PRO VSTUPY/ VÝSTUPY PLC.....	67
--	-----------

11.3 Seznam použitých grafů

GRAF 1) CELKOVÉ POROVNÁNÍ VYBRANÝCH ZNAČEK.....	45
--	-----------

11.4 Seznam použitých zkratk

A	Ampér
AC	Alternating Current
DC	Direct Current
EMC	Electro Magnetic Compatibility
EtherCAT	Ethernet for Control Automation Technology
FBD	Function Block Diagram
GVL	Global Variable List
HMI	Human Machine Interface
I/O	Input/ Output
LD	Ladder Logic Diagram
m	metr
mm	milimetr
μm	mikrometr
CNC	Computer Numeric Control
Nm	Newton metr
OCT	One Cable Technology
PLC	Programmable Logic Control
POU	Program Organization Unit
s	sekunda
ST	Structure Text
STO	Safe Torque Off
TwinCAT	The windows Control Automation Technology
TTL	Transistor- Transistor Logic
USB	Universal Serial Bus
V	Volt
VUT	Vysoké učení technické
W	Wat

11.5 Seznam použitých symbolů

Symbol	Veličina	Jednotky
a_e	Šířka záběru	mm
a_p	Hloubka záběru	mm
γ_0	Nástrojový ortogonální úhel čela	°
D_n	Průměr frézy	mm
D_v	Průměr vrtáku	mm
F_{cf}	Řezná síla při frézování	N
f_z	Posuv na zub	mm
f_{zvr}	Posuv na otáčku	mm
hm	Střední tloušťka třísky	mm
i	Převodový poměr	-
k_{cf}	Měrná řezná síla	N/mm ²
k_{c1}	Měrná řezná síla	N/mm ²
κ_r	Nástrojový úhel nastavení ostří	°
λ	Úhel šroubovice	°
M_{kf}	Krouticí moment při frézování	Nm
M_{kv}	Krouticí moment při vrtání	Nm
n_n	otáčky nástroje	ot · min ⁻¹
P_f	Potřebný výkon při frézování	W
P_v	Požadovaný výkon při vrtání	W
v_c	Řezná rychlost	m · min ⁻¹
v_f	Rychlost posuvu	mm · min ⁻¹
Z_n	Počet zubů	-

12 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1: Elektrická dokumentace

Příloha č.2: Program řízení TwinCAT